心理学报 2022, Vol. 54, No. 5, 497−515
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00497

个人主义文化价值观对疫情控制效果的影响及其计算心理机制*

黄丽芹　孙　寅　罗思阳
(中山大学心理学系，广州 510006)

摘　要　COVID-19 疫情是一场重大的全球健康危机，一些国家在控制 COVID-19 感染和死亡率上存在明显困难。我们提出，个人主义的文化价值观不利于对疫情的控制。跨文化分析结果显示，个人主义文化价值观正向预测 COVID-19 死亡数、每百万死亡数和死亡率，独立自我建构负向预测疫情前期控制速度。演化博弈模型和跨文化实验进一步提示，个人主义文化通过增强个体在疫情背景下的死亡恐惧，增加个体违反疫情管控的流动性倾向，从而降低了整体疫情控制的效率。我们的结果支持自然−行为−文化协同进化的理论模型，提示文化对 COVID-19 病毒传播管控和死亡可能性的影响，为各国应对全球公共卫生危机提供了重要科学参考。

关键词　文化，个人主义，违规流动，政府规范，疫情控制，Agent Based Modeling，死亡恐惧
分类号　B849: C91

1　引言

1.1　文化

Hofstede 将文化比喻为人的“心理程序” (mental programming)，即人的思维、情感和潜在的行为模式，是区分不同群体成员集体思想的反映，并且提出了文化五维度理论，其中个人/集体主义在描述跨文化差异时运用最广泛(Oyserman et al., 2002)。Markus 等(2010)人认为欧洲、北美是典型的个人主义文化，强调个人独特性，提倡自我引导和表达，个体通过关注自我来维持其独立性，形成独立自我——包含明显的品质特征，与情境分离；东亚大部分国家是集体主义文化，提倡彼此和谐，形成互依自我——关注自我与他人的关系(Cohen et al., 2016)。独立/互依自我和个人主义/集体主义是文化在个体和群体层面的相似性表达，是解释跨文化差异的最重要的概念之一(Markus & Kitayama, 2010)。文化的产生和发展不仅受到人文环境的影响(例如宗教制度、社会政治结构等)，还会受到地域环境的影响。文化地理学认为不同文化起源于特定自然环境相联系的生态系统，是人和自然交互的产物(Anderson, 2020)。研究者发现了众多影响文化的新因素，有几个理论非常具有代表性：病原体流行理论(Fincher et al., 2008; Schaller & Murray, 2010)、气候−经济理论(Fischer & van de Vliert, 2011; van de Vliert & Postmes, 2012)、农耕畜牧理论(Uskul et al., 2008)以及稻米理论(Talhelm et al., 2014; Talhelm & Oishi, 2018)，从生态的角度为不同文化的成因提供了新思路。

1.2　自然−行为−文化的共演化

然而，环境对于文化的影响并不是一个简单的单向心理过程，不同文化会导致人们认知 、动机及情绪等方面的差异，能影响广泛的心理和行为倾向(Nisbett et al., 2011)，这些行为倾向又可以改变所依存的环境。自然和文化呈现共同演变的趋势，特定环境下人们的适应性行为塑造文化差异，特定文

收稿日期: 2021-05-14
* 国家自然科学基金(32071081, 31800916)和广东省基础与应用基础研究基金(2020A1515010975)资助。
孙寅和黄丽芹为本文共同一作，具有同等贡献。
通信作者：罗思阳, E-mail: luosy6@mail.sysu.edu.cn

化背景的行为倾向又改变自然，因此我们提出：自然−行为−文化的共演化模型(NBC coevolution model，图 1)。人类学认为气候变化受到环境和社会因素互相影响，强调气候变化的文化因素(Prorokova, 2019)。集体主义地区通常伴随频繁的人类活动，加速不稳定的大气环境状态(Hulme, 2014)，影响生态系统的服务功能。个人主义在面对发展和环保的取舍时将自我利益放首位，开展大规模工业活动影响气候变化(例如全球变暖)。文化已成为“我们自身适应以及永久生存下去的方式”。

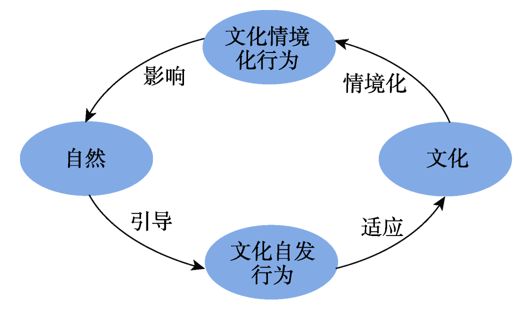


图 1 NBC 共演化模型

在应对疾病威胁方面，集体主义文化中个体团结起来应对疾病威胁，重视制度，在这种文化下人们会积极响应政府政策，例如保持社会距离、佩戴口罩等以减少与病原体的接触，发挥出有效的保护作用(Williams et al., 2015)。个人主义文化中人们更注重个人自由和权益，社会规范力量较弱，个体不太愿意接受政府对其行为的指导，无法和群体保持一致规范的态度与行为，而规范和群体共识有减少疾病感染的社会屏障作用(Roos et al., 2015)，因此个人主义无法有效发挥抗病原体的作用。Cao 等人对 54 个国家的个人主义程度与封锁政策在疫情防控上的实施效果之间的关系进行探讨(Cao et al., 2020)，其中封锁政策实施效果以每个国家在实施封锁政策后第 16 天至第 45 天期间(共 30 日)每百万人新增确诊病例数、新增死亡数以及致死率作为衡量指标。结果发现，国家的个人主义程度与新增确诊病例数、新增死亡数和致死率均呈显著正相关，且在对政府严格度(Government Stringency)、人口密度和年龄中位数进行控制后仍可正向预测新增确诊病例数与新增死亡数。此外关于文化的其他研究表明权力距离越高，疫情的增长速度越慢。低权力距离文化中的个体似乎不太愿意盲目接受政府关于如何改变其社会行为的指导，相反他们更喜欢对影响他们生活方式的决定有发言权；一个国家寻求放纵而不是持久的约束的享乐主义价值观，会破坏人们应对疫情的社会规范遵守，与疾病暴发呈正相关(Messner, 2020)。基于谷歌新冠疫情社群流动报告(Google community mobility reports)数据，一项最新的研究考察了 2020 年 2 月 16 日至 3 月 29 日期间 58 个国家在公共场所的人群聚集情况(Huynh, 2020)，结果发现不确定性规避指数与公共场所人群聚集程度呈现显著负相关，即在不确定性规避程度高的文化中，疫情严峻时期，民众前往公共场所的可能性更低。Gelfand 等人提出文化和制度因素可以结合起来预测各国在面对传染病时的反应(Gelfand et al., 2021)，在面对传染病时紧密文化对应着更少的确诊数量和死亡数量，并且通过一个演化博弈理论模型表明，紧密的群体在威胁下的协作要快得多、生存率要高于宽松群体，表明在疾病威胁时期，疫情应对的跨文化差异是群体在高威胁条件下遵守合作规范的程度不同所引起的，严格的社会规范可能会赋予进化优势。个人主义和紧密性文化差异的相互作用对 COVID-19 疫情防控具有影响，在宽松和个人主义的文化下对应着快速增长的患病率和粗略死亡率以及更高的病死率(Cao et al., 2020)。

1.3 政府规范的影响

在大流行的早期阶段，由于有效的治疗和预防手段缺乏，人类社会主要通过非药物的干预措施实现病毒传播途径的切断。因此，在有效治疗手段出现以前，病毒传播结果不同的解释来自于不同群体采取的不同非药物干预措施。然而各国出台的措施以及施行程度的差别很大，在这个过程中政府的行动本身受到文化差异的影响，反映了集体的意志(Alesina & Angeletos, 2005; Benabou & Tirole, 2006)。

在 COVID-19 大流行中，政府规范对于应对病毒传播有显著的意义(Dehning et al., 2020)。在个人主义文化较高的地区，政府前期对于疫情不够重视(Cheeyandira, 2020)，各州在施行管控上缺乏协调合作，这些都没能有效的阻断或者抑制疫情扩散。相比之下个人主义较低的国家，例如中、韩等国家则成功控制了 COVID-19 的传播，核心干预措施是政府机构的力量——采取政府规范进行非药物干预，人们积极响应政府政策(例如交通、接触限制等) (Lai et al., 2020)，降低了 COVID-19 的发病和死亡水平，成功阻断了 COVID-19 的社区持续传播(Li et al., 2020)。Gelfand 等人(2021)也发现文化(文化松紧度)和制度因素(政府)可以结合起来预测各国在面对传染病时的反应，在面对传染病时紧密文化对应着更

少的确诊数量和死亡数量。因此我们认为政府干预在 COVID-19 防控的过程中起到了一定的调节作用。

1.4 死亡恐惧的中介效应

对死亡的恐惧是人类的特征，前人已有研究表明在个人主义的背景下，对抗死亡植根于对个人命运的控制(Seymour et al., 2010)，个人主义的人认为自我具有极大的价值，人们普遍害怕死(Becvar, 2005)。个人主义文化价值观影响下的个体倾向于控制自己的死亡(Kearl & Harris, 1982; Kemmelmeier et al., 2002)，而在疫情这种突然性全球卫生事件下，个人的死亡变得不可控，因而个人主义倾向(独立型自我建构取向)高的个体在疫情背景下可能会对死亡产生更大的恐惧。恐惧管理理论(TMT)也指出死亡会带来人们的恐惧以及焦虑，为此人们会从文化价值观的角度展开防御机制。死亡影响对于不道德或违规行为判断的作用，从心理学角度可以从道德推脱和利己辩护等机制理解，在这种背景下个体免除了因违背道德标准而带来的心理冲突或压力，促使违规流动倾向的增加(伍麟, 白仲琪, 2019)。因此我们猜想，文化差异与个体违背政府疫情管控倾向之间的关系可能受到对死亡恐惧的中介作用。

本文即以 COVID-19 疫情为切入口来阐明文化如何通过改变人类行为影响疫情控制速度最终影响环境中的病原体流行率，通过 4 个研究，结合了调查问卷的偏相关分析、分层线性模型(Hierarchical Linear Model, 简称 HLM 分析)、表征相似性分析(Representational Similarity Analysis, 简称 RSA)等方法以及基于主体的建模技术(Agent Based Model)来验证文化对个体行为的影响，最终塑造自然环境的作用。研究 1 中我们在世界范围内探究了个人主义和疫情死亡指标的关系；研究 2 中，我们采用个体水平的数据探究了自我建构和疫情控制速度的关系；研究 3 基于演化博弈模型进一步研究疫情下的流动行为对疫情控制速度的影响，探讨了个人主义文化影响疫情控制效率可能的作用路径；研究 4 中采用分层线性模型验证了个人主义文化对疫情有关行为——违反政府规范的流动行为的影响，并在此基础上探究其内在心理机制。

2 研究 1：个人主义对疫情的影响

研究 1 有两个目标。首先，我们考察了在国际范围内个人主义是否和 COVID-19 疫情严重程度有关；其次，我们探究了个人主义在国家间的相似性能否预测 COVID-19 严重程度在不同国家间的相似性，我们提出了如下假设：

H1a：个人主义和 COVID-19 死亡指标(死亡数、每百万死亡数、死亡率)之间存在正相关。

H1b：个人主义相似性模式和疫情死亡指标相似性模式在不同国家间存在相似性。

2.1 方法

2.1.1 数据来源

(1)个人主义得分

个人主义来自于 Hofstede 文化维度理论，本研究中所用到的个人主义得分来源于 Cultures and Organizations, Software of the Mind 第三版(https://www.hofstede-insights.com/, pp.255−258，详见网络版附录补充材料)。

(2) 73 个国家总人口/人口密度

73 个国家的总人口及人口密度数据来自于世界银行开放数据，为 2014~2018 年的统计数据取平均值(见 https://data.worldbank.org/)，数据更均新于 2020 年 5 月 28 日。

(3) 73 个国家 COVID-19 数据

COVID-19 的数据来源于世界卫生组织官网，(https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports)。记录了从 2020 年 1 月 24 日开始截止到 6 月 19 日第一波疫情，发生 COVID-19 的 73 个国家每天的累计死亡人数和确诊人数。为了排除国家人口因素的影响，我们使用死亡数除以每个国家的百万人口数获取每百万死亡数指标，这个指标反映了疫情在该国蔓延和危害的范围及群体层面的严重程度；用累计死亡人数除以累计确诊总数获得死亡率指标，反映受治病人死亡的概率，死亡率可以作为反映在疫情实时背景下严重程度和当前医疗条件下个体风险的指标。

2.1.2 数据分析处理

(1)偏相关分析

我们将人口密度作为控制变量对个人主义和 COVID-19 死亡相关指标做偏相关分析，同时根据 Russell (2020)等人设计的漏报指数，获取每个国家的调整病死率，与个人主义文化维度进行分析。为避免极端值带来的影响，我们对每个对死亡有关的指标进行极端值的检验，若存在超过均值 3 个标准差的极端值，将其剔除再次重复验证结果是否保持一致(详见网络版附录)。

(2)表征相似性分析(Representational Similarity Analysis-RSA)

为了给跨文化研究带来新的视角，本研究引入

了系统神经科学的定量方法，即表征相似性分析(RSA)来检验文化在疫情中的作用。RSA 是一种使用单元的成对比较来揭示它们在高阶空间中的表征的计算方法(Haxby et al., 2014; Kriegeskorte et al., 2008)。尽管 RSA 已有十多年的历史，但这种方法在跨文化心理学研究中却很少被采用。传统的线性相关性侧重于二维值之间的相关性。相比之下，RSA 分析可以进一步反映特定维度上每对数据点之间的关联和所有数据点的总体模式特征，从而揭示关于每个单元所构建的全局模式以及两个单元之间的关系的更多信息，而不仅仅是单一维度上的线性投射，这种模式特征所反映的内容不一定与线性相关分析的结果相一致，可为变量之间的关系提供更多的证据和信息(详见网络版附录)。此外，在文化心理学的研究中使用 RSA 方法可以很容易的进行跨数据级别的比较，只要在研究中具有相同的任务，任何模式(具有不同的空间和时间尺度)的数据都可以进行相互比较(Popal et al., 2019)。在跨文化的研究中运用 RSA 的分析方法能够揭示更多的信息，例如RSA 可以用来对行为进行预测，通过表征相似性预测特定文化和文化一致的行为，也可以比较不同文化群体之间的表征有何不同，以及如何比较这些表征来验证文化心理学理论。

2.2　结果

在控制不同国家人口密度后，个人主义得分与 COVID-19 死亡总数呈显著正相关(r = 0.34, p < 0.001)，与每百万累计死亡人数呈显著正相关(r = 0.46, p < 0.001)，并且与死亡率也呈显著正相关(r = 0.42, p < 0.001)，与调整后的病死率呈显著正相关(r = 0.56, p < 0.001，表 S3)。即个人主义越高的国家，每百万死亡数越多，死亡率也越高(总死亡数的数据分布非正态，我们重点展示每百万死亡数和死亡率的结果)，如图 2 所示。

此外，我们将老年人口比率、人口密度、政府规范水平、医疗质量和可及性指数(Healthcare Access and Quality Index, HAQ)、人均国民生产总值(GDP per capita)和病原体历史流行率(Murray & Schaller, 2010)纳入偏相关中作为控制变量进行分析后发现：个人主义得分与 COVID-19 死亡总数呈显著正相关(r = 0.367, p = 0.002)，与每百万累计死亡

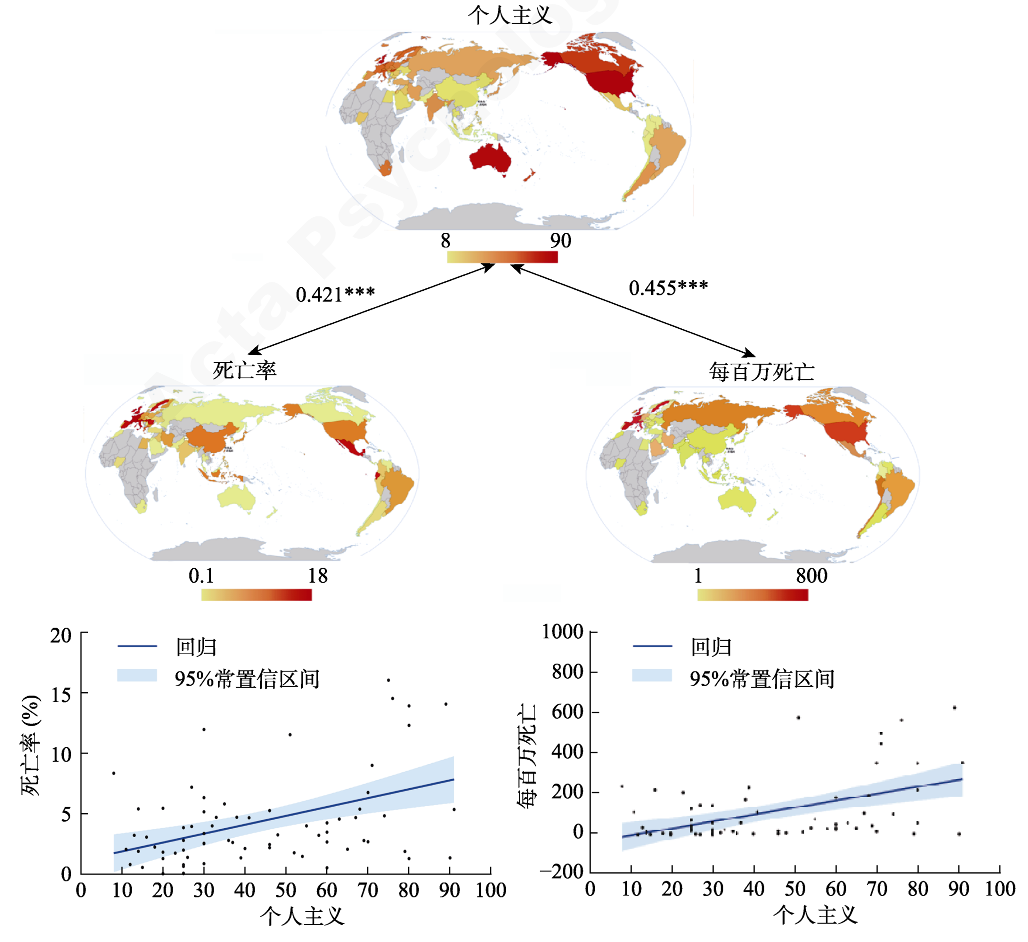


图 2　个人主义与 COVID-19 死亡率/每百万死亡的相关(n = 73) (*** p < 0.001)

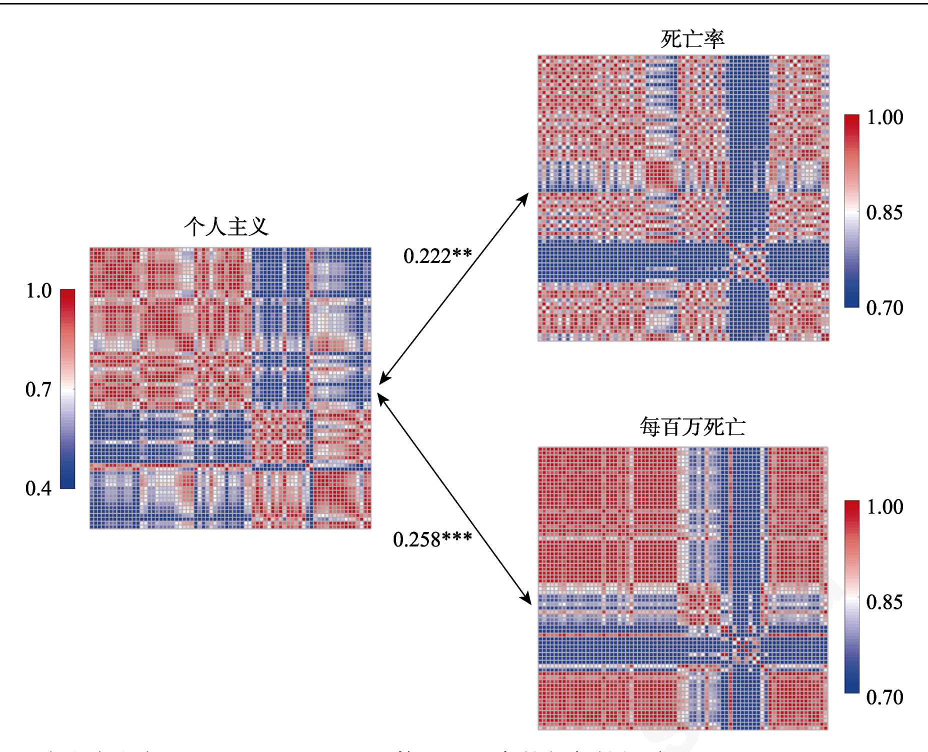


图 3　个人主义与 COVID-19 百万死亡数、死亡率的相似性矩阵(** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$)

亡人数呈显著正相关(r = 0.283, p = 0.02), 并且与死亡率也呈显著正相关(r = 0.322, p = 0.008), 剔除极端值后再次进行分析我们得到了同样的结果(死亡总数: r = 0.36, p = 0.003, 百万死亡数: r = 0.27, p = 0.029, 死亡率: r = 0.32, p = 0.01, 剔除后的结果在计算个人主义与总死亡数、死亡率和每百万人死亡数的偏相关时, 分别剔除了美国、法国和比利时的数据)。变量间的相关系数详见网络版附录(表S2)。73 个国家的个人主义相似性矩阵与 COVID-19 总死亡人数(r = 0.22, $p < 0.001$)、每百万死亡数(r = 0.26, $p < 0.001$)和死亡率(r = 0.22, $p < 0.001$)的相似性矩阵之间有显著的相似性(图 3), 即个人主义在各个国家之间的相似性能够预测死亡相关指标在各个国家之间的相似性。

3　研究 2: 自我建构对疫情控制速度的影响

由于 COVID-19 疫情在世界各国发展阶段不同, 有些国家疫情控制还没有达到峰值, 我们难以对疫情随时间的发展曲线进行精确的拟合。中国第一波疫情已经结束, 因此研究 2 我们以中国为例, 对中国 31 个省份(不包含港澳台)的累计确诊数随时间的变化进行模型拟合以获得疫情各阶段控制速度相关指标。独立/互依自我建构和个人主义/集体主义是文化在个体和群体层面的相似性表达, 个人主义/集体主义侧重体现群体文化价值观, 而自我建构反映个体层面的文化价值倾向(Markus & Kitayama, 2010)。因此我们使用自我建构对个体层面的文化价值观进行测量。研究 2 有两个目标: 首先我们根据模型拟合得到 COVID-19 在各个地区的控制速度, 探究自我建构在中国是否和 COVID-19 控制速度有关; 其次我们探究自我建构在中国各个省份的相似性能否预测 COVID-19 的控制速度在不同地区之间的相似性。我们提出了如下假设:

H2a: 独立型自我建构和 COVID-19 各阶段控制速度之间存在负相关。

H2b: 独立型自我建构和疫情控制速度在中国各省的相似性也显著。

3.1　方法

3.1.1　被试

本研究样本来自中国 31 个省份(不包含港澳台)的 24414 名被试(研究中被试的省份为填写问卷时所在 IP 地址), 数据收集时间为 2017~2019 年, 删除填写问卷时 IP 地址不在大陆地区、研究过程中 IP 地址不一致的被试的数据以及家庭住址无效的被试的数据后, 用于本研究的有效被试共 20556 名。其中女性 10529 名, 男性 10027 名, 被试年龄范围为 17~71 岁, 平均年龄 23.59 岁(M = 23.59, SD = 6.76)。实验前获得所有被试的知情同意, 且得到了伦理审查委员会的批准。

3.1.2 测量与数据来源

(1)自我建构

本研究中自我建构得分为各省被试自我建构分数的均值, 由 Singelis (1994)设计的自我建构量表的中文版测量。量表为 7 点 Likert 式量表(1 = 非常不同意, 7 = 非常同意), 有两个子维度: 互依型自我建构和独立型自我建构, 每个维度各 12 个条目, 维度分数为该维度下所有条目的均分, 题目皆为正向计分。互依型自我建构的 α = 0.800, 独立型自我建构的 α = 0.711。

(2)中国 31 个省份 COVID-19 数据

所采用的 COVID-19 数据来源于国家卫健委(http://2019ncov.chinacdc.cn/2019-nCoV/)、丁香医生 (http://ncov.dxy.cn/ncovh5/view/en_pneumonia?from = dxy&source = dxys)和约翰·霍普金斯大学系统科学与工程中心 JHU CSSE (https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19), 记录了从 1 月 20 日开始到 3 月底第一波疫情结束, 中国 31 个省份每天的累计确诊数, 所有数据均不包含境外输入案例。2 月 12~19 日湖北省确诊病例包含临床诊断病例。

(3)控制变量

① 31 个省份总人口数

地区总人口数据来源于国家统计局(http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn = E0103)。

②人口流动性

本研究的人口流动性根据客运量指标来衡量, 数据来源于国家统计局(http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn = E0103)。

③医疗卫生机构数量

本研究的医疗卫生机构数量数据来源于国家统计局(http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexch.htm)。

④人均地区生产总值(元)

本研究的人均地区生产总值数据来源于国家统计局(http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.htm)。

3.1.3 数据分析处理

(1)模型拟合

研究表明 Logistic 回归模型是识别疾病进展曲线(Disease Progress Curve -DPC)参数差异的一种敏感的方法(Bergua et al., 2008), 被广泛应用于各种研究和分析中, 具有良好的拟合优度。我们对 31 个省份的累计确诊数随时间的变化进行 logistics 模型拟合。模型拟合的公式为:

$$y = a/(1 + \exp(-k*(x-xc)))$$

a 为函数的极限值——即预测的 COVID-19 累计确诊数; k 为增长速率, k 越大表示疫情控制得越快; xc 表示达到 50%的预测确诊数所需天数。根据模型拟合获得总的疫情控制速度指标(k)。由于 COVID-19 增长速率在峰值前后两个阶段是非对称分布的, 我们对拟合的函数曲线进行微分, 首先获得到达峰值所需的天数。在到达峰值的时间点, 将曲线分成前后两个不同的阶段, 再次运用函数 $y = a'/(1 + \exp(-k'*(x-xc')))$ 对两个阶段分别进行 logistics 模型拟合, 获得疫情前期控制速度和疫情后期控制速度指标(以安徽省为例, 见图 4)。青海和西藏地区确诊人数较少, 分别只有 18 例和 1 例, 并且拟合点数分别只有 12 个和 1 个, 模型拟合准确性低于 0.9, 因此在进行模型拟合时将其剔除。

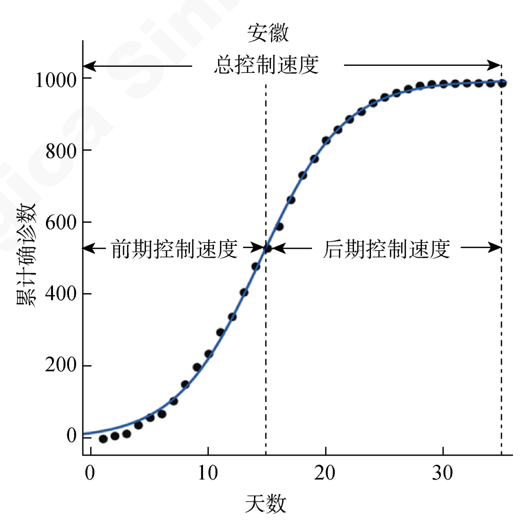


图 4 疫情进展曲线模型拟合示意图

3.2 结果

29 个省份用于模型拟合点数均在 30 个以上, 调整后的方差解释率均大于 0.96 (结果见网络版附录), 拟合状态良好, 累计确诊数随时间变化曲线的模型拟合结果图见网络版附录图 S3。在控制人口流动性后, 独立型自我建构与疫情前期控制速度呈显著负相关($r = -0.381, p = 0.046$, 图 5)。即独立型自我越高的地区, 疫情前期控制得越慢; 独立型自我建构越低的地区, 疫情前期控制得越快; 而互依型自我建构与疫情前期控制速度之间没有显著相关($ps > 0.05$, 网络版附录图 S4)。在同时控制医疗卫生机构数量和人均地区生产总值后, 独立型自我建构与疫情前期控制速度的相关依然显著($r = -0.397, p = 0.045$), 而互依型自我建构与疫情控制前期控制速度之间依然没有显著相关关系($ps > 0.308$)。

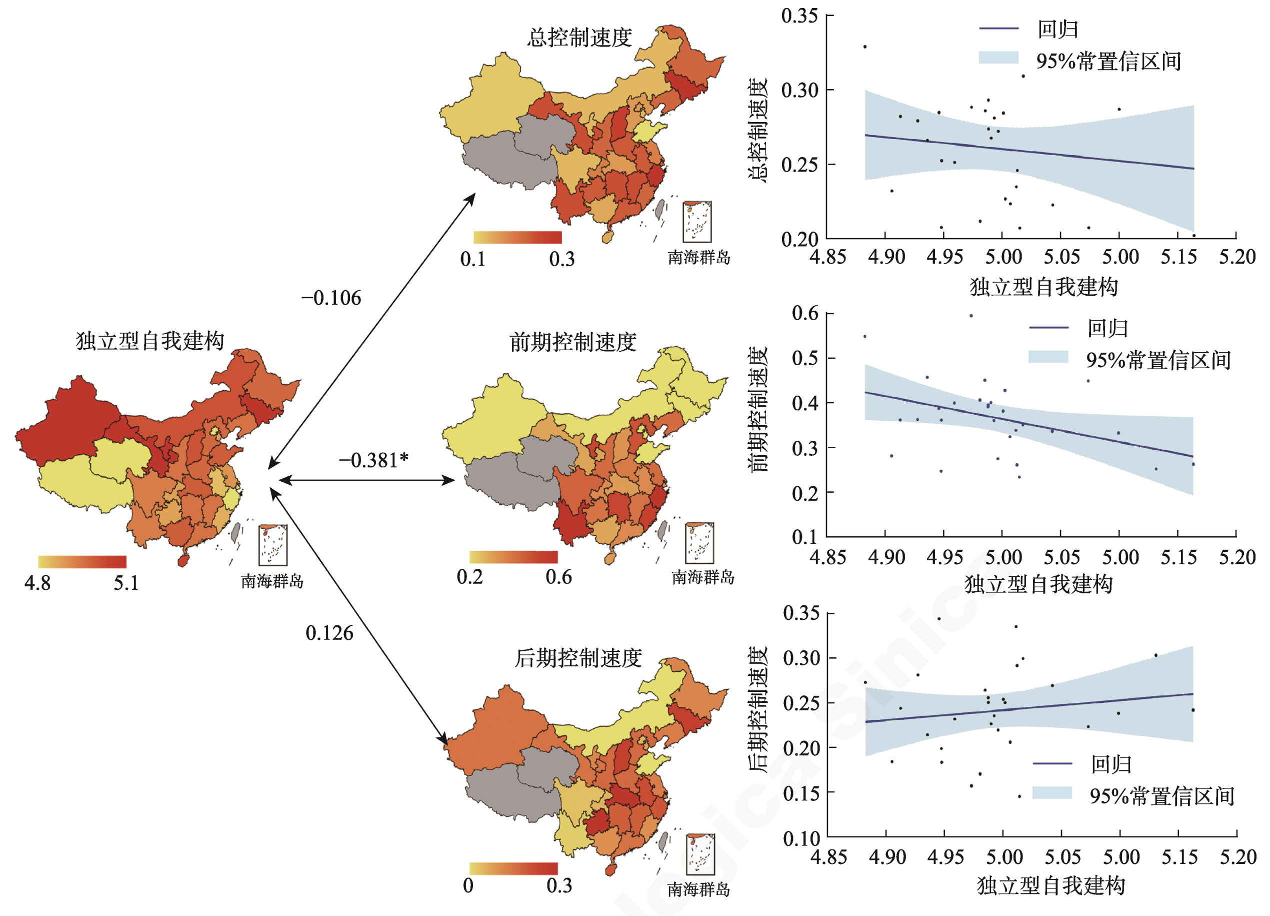


图 5　独立型自我建构, 互依型自我建构与疫情控制速度之间的相关(n = 29)

29 个省之间的独立型自我建构的相似性矩阵与疫情总体控制速度/前期控制速度的相似性矩阵之间表现出显著的相似性(总体控制速度: r = 0.299, p < 0.001, 前期控制速度: r = 0.179, p < 0.001, 图 6), 即独立型自我建构在各个省之间的相似性能够预测疫情前期控制速度在各个省之间的相似性。29 个省之间互依型自我建构的相似性矩阵与疫情控制速度的相似性矩阵之间没有显著的相似性(ps > 0.05, 图 6), 即互依型自我建构在中国各个地区的相似性无法预测疫情控制速度在各个地区之间的相似性, 详细信息见网络版附录。

4　研究 3: 个人主义和政府规范对疫情的影响——基于主体的建模

在研究 2 的基础上, 我们想对政府规范是否在文化和疫情控制过程之间存在调节作用进行检验。在此基础上, 我们的研究 3 有两个目标。首先, 我们应用 Agent Based Model 结合演化博弈理论的思想进行建模与仿真, 在 SEIR 疾病传染病模型基础上, 模拟多主体交互的 COVID-19 疫情演化建模与仿真过程, 在演化博弈模型中模拟人与人之间微观的交互, 考察个人主义文化对于 COVID-19 的死亡数和控制速度影响的行为机制; 其次探究在模型中政府规范如何影响个人主义文化和 COVID-19 的死亡数和控制速度的关系。我们提出了如下假设:

H3a: 个人主义文化通过增加流动性影响疫情控制速度。

H3b: 政府规范调节了个人主义和疫情控制速度之间的关系。

4.1　方法

4.1.1　可视化仿真系统设计

(1) Agent Based Model

基于主体的建模(Agent-Based Model, ABM)通过对主体及其相互之间(包括与环境)的行为进行刻画, 并将关键属性抽象出来建立多主体模型, 设定主体属性、行为、交互规则和相关约束条件, 模拟主体(个体或集体实体, 如组织或团体)的行为和交互, 以通过系统的运行研究主体行为对系统整体特性产生的影响, 来描述复杂系统的宏观行为(Macal & North, 2009)。

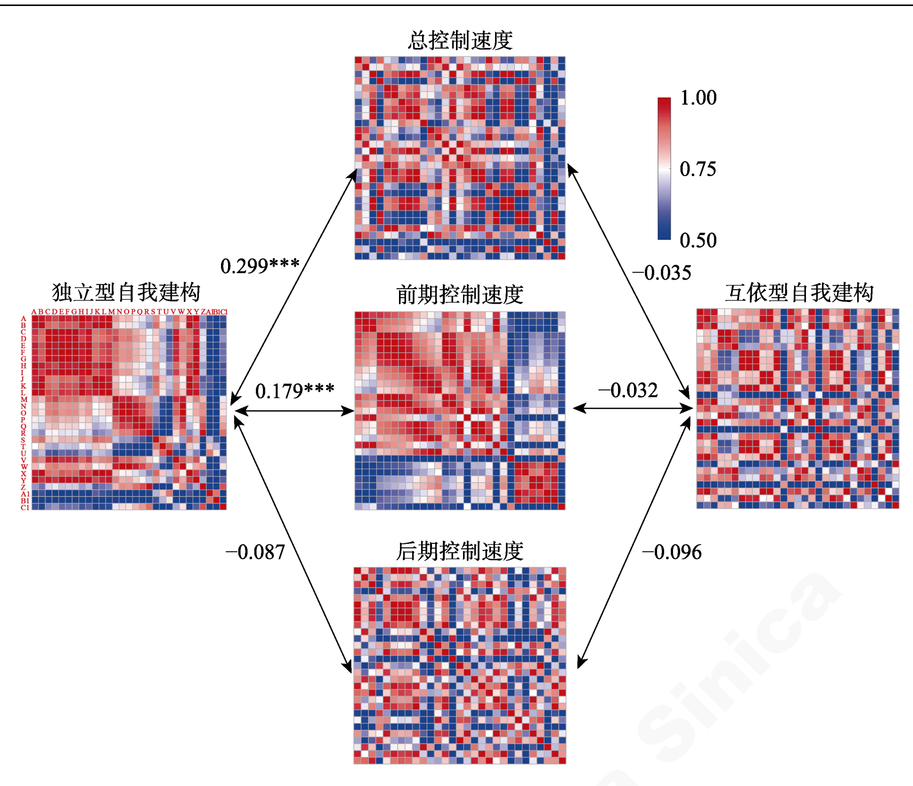


图 6 自我建构与 COVID-19 控制速度的相似性矩阵(n = 29)。每个矩阵从左到右/从上到下依次是 1 = 河北、2 = 山东、3 = 湖南、4 = 四川、5 = 辽宁、6 = 陕西、7 = 江西、8 = 河南、9 = 广东、10 = 山西、11 = 湖北、12 = 广西、13 = 海南、14 = 江苏、15 = 贵州、16 = 重庆、17 = 安徽、18 = 上海、19 = 天津、20 = 福建、21 = 北京、22 = 黑龙江、23 = 内蒙古、24 = 云南、25 = 吉林、26 = 新疆、7 = 甘肃、28 = 宁夏、29 = 浙江(*** p < 0.001)

(2) SEIR 基础模型

① SEIR 模型基本原理

在一个简单的 Susceptible (易感者)−Exposed (潜伏者)−Infected (感染者)−Removed (康复者)(SEIR)模型中，Susceptible (易感者)是指没有感染过此传染病、迄今健康的人群，Exposed (潜伏者)是正在此传染病潜伏期的人群，Infected (感染者)是已经确诊的人群，Removed (康复者)是移除的人群(包括康复的人和死亡的人，见图 7)。在 SEIR 模型中有守恒关系：$S(t) + E(t) + I(t) + R(t) = N$ 常数(总人数)，病死者可归入 R 类。SEIR 模型考虑了病毒潜在的隐藏周期，这和新冠病毒实际情况更加符。

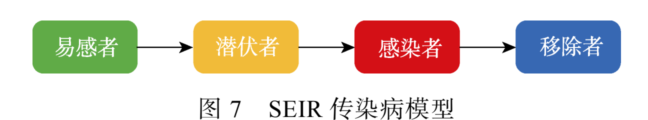


图 7 SEIR 传染病模型

② 模型的假设

a)假设 1:

网络中所有节点均有 4 种状态：易感状态(Susceptible-S 类)、潜伏状态(Exposed-E 类)、感染状态(Infectious-I 类)、恢复状态(Recovered-R 类)。与感染者接触过的易感者并不马上表现出症状，而是成为病原体的携带者且具有传染性，归入 E 类开始经历潜伏期，一段时间之后才出现症状成为确诊感染者 S 类，以一定的概率死亡或者康复。模型假设康复者体内含有抗体，不会再感染病毒，死亡的个体会退出整个模型，不具备感染能力。

b)假设 2:

COVID-19 的主要传播途径包括接触传播以及呼吸道传播等，在这里我们模型假设只有接触传播一种传播途径。为了简化模型，模型假设感染者会在运动过程中传染其他易感染者，使得其他易感者有一定的几率被感染成为潜在暴露者。

c)假设 3:

当整个模型中没有 E 和 I 状态的个体时，病毒无法进一步扩散，模型终止。

(3)模型的建立及仿真

受字数限制，模型初始状态、基础模型设置和与文化无关的规则一至五设置详见网络版附录。

规则六：个人主义文化

规则六是模拟个人主义文化在疫情中对模型主体运动情况影响的过程，我们认为高个人主义的

社会下人们出行更加自由，限制性更弱，加大携带病原体的个体的流动性。在本研究中，模型中的个人主义的强度体现在主体运动距离范围 r 以及政府干预时间快慢 $t1$ 上。

在刚开始的时候整个屏幕中的个体都在进行运动。个体运动的范围 r 服从正态分布，其均值和标准差均为个人主义 individualism 的函数(个人主义 individualism 越大，个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大)。个体运动的距离服从均值为 $(5+0.2\times individualism)$、标准差为 $(0.1\times individualism)$ 的正态分布：

$$r(forward)\sim N(5+0.2\times individualism,\ 0.1\times individualism) \quad (4\text{-}1)$$

个人主义 individualism 同时会影响政府规范 gnorm 实施的时间 $t1$，个人主义 individualism 越高，政府开始控制时间 $t1$ 越晚(注重个人自由的文化背景下需要时间考虑措施可实施性)—政府规范 gnorm 开始实施规范的时间 $t1$ 是个人主义 i 的函数。政府规范实施时间随个人主义变化如下：

$$t1=(2.5\times individualism+175) \quad (4\text{-}2)$$

规则七：政府调控

规则七是模拟政府在疫情出现后对模型主体运动情况影响的过程，我们认为高强度政府干预的社会具备严格的政府规范措施，对于人员出行有着更强的限制性。在本研究中，模型中的政府调控的程度体现在主体运动距离范围 r 以及运动点数百分比 $p\%$上，并且政府规范会影响个人主义(individualism)对于主体的效应。在一定的时间节点 $t1 = 2.5 \times$ individualism + 175 政府开始进行干预，人们运动距离 r 的范围开始受到限制，并且运动的总人数 $p\%$ 也受到了限制(然而更高的个人主义 individualism 会打破人们对于政府规则的遵守程度，引起政府规范 gnorm 的力量减弱)。

此时运动半径范围 r 会受到个人主义 individualism 和政府干预 gnorm 的影响，运动范围 r 仍然服从正态分布(个人主义 individualism 越大个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大；反之，政府规范 gnorm 越强，个体运动的范围半径 r 越小，并且运动范围的变异性越小)。个体运动距离 r 服从均值为 $(5+0.2\times individualism)\times(1-gnorm)$、标准差为 $((0.1\times individualism)\times(1-gnorm))$ 的正态分布：

$$r(forward)\sim N[(5+0.2\times individualism)\times(1-gnorm),\ (0.1\times individualism)\times(1-gnorm)] \quad (4\text{-}3)$$

而运动的总人数 $p\%$是个人主义 individualism 和政府规范 gnorm 的函数($p\%$会随着个人主义 individualism 的增加而增加，随着政府规范 gnorm 的增加而减少)，并且在运动的过程中，随着政府开始干预时间的推移个人主义的作用会减弱并且最后逐渐消失。

$$p\%=b\times individualism\times\frac{(1-gnorm)}{(1+gnorm)}+(1-b)\times 30\times 0.01\times\frac{(1-gnorm)}{(1+gnorm)} \quad (4\text{-}4)$$

随着政府干预后个人主义作用的减弱体现在系数 b 上，系数 b 随着时间 t 的推移不断减小直到为 0 后不变($b\geqslant 0$)。

$$b=\begin{cases}\dfrac{100-(ticks-t1)}{100}, & t1\leqslant ticks\leqslant t1+100\\ 0, & t\geqslant t1+100\end{cases} \quad (4\text{-}5)$$

此时将模型中剩余 $initial\ population\times(1-p\%)$ 个主体设置为居家隔离状态，不再遵从规则一的移动特性(网络版附录)。其中 initial population 是这个模拟社会的初始主体个数，也就是 10000。

仿真系统的过程模拟

在演化博弈模型中我们可以直观的看到在我们所设置的环境下 COVID-19 疫情发展过程中各模型数量的变化，其中 S (代表易感者数量)、E (代表潜伏者数量)、I (代表确诊感染者数量)、R (代表康复者数量)的颜色分别被设置为设为蓝色、黄色、红色、灰色。我们可以通过调整各个参数的取值范围和具体取值来清晰、直观地观察到整个系统在仿真过程中的实时情况和变化趋势。通过这个过程我们改变个人主义与政府规范有关的参数来模拟不同条件下的疫情发展与控制情况，图 8 为低个人主义(取值 30)、中等程度政府规范(取值 0.3)条件下的某次疫情模拟的动态演化过程。

4.1.2　数据分析与处理

我们基于所建立的模型在个人主义 2 种水平(高个人主义为 70；低个人主义为 30)、政府规范 9 种水平(政府规范取值分别 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9)一共 18 个条件下各自模拟 100 次数据(一共 1800 次)，分别获得每次模拟下的 COVID-19 死亡数、累计感染数。

(1)模型拟合

我们对每种条件下 100 次模拟的累计确诊数随时间的变化进行 logistics 模型拟合(从有确诊当天开始，直到连续 5 天没有新增确诊为止)，拟合过程以及公式同研究 2，获得疫情总的疫情控制速度

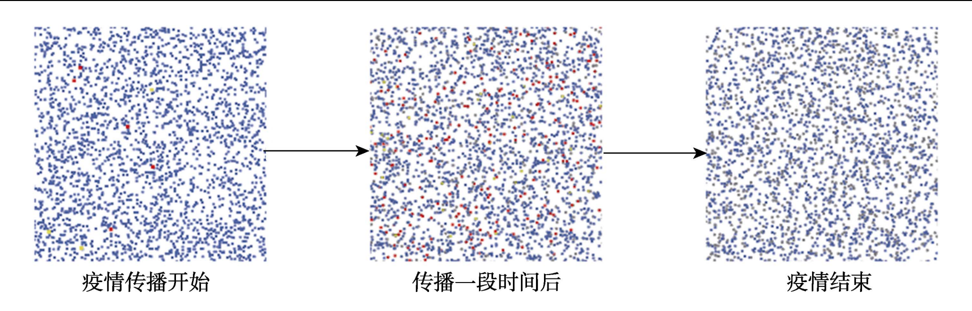


图 8 疫情传播演化过程模拟图。第一张图是疫情传播的初始状态，在已有的 10000 个主体中，包括 10 个红色确诊主体(I 类)以及 8 个黄色潜伏感染主体(E 类)；第二张图为一段时间后疫情传播开来，可以看到大量蓝色易感主体(S 类)和红色感染主体(I 类)，还有部分黄色潜在感染主体(E 类)，以及已恢复具备免疫力的灰色主体(R 类)；第三张图是疫情结束的状态，此时整个模型中只有蓝色易感个体(S 类)以及恢复后免疫的灰色主体(R 类)，死亡主体已被移除模型，此时模型中主体小于 10000 个。

指标(kt)以及模拟的疫情前期控制速度($k1$)和后期控制速度($k2$)。

(2)区间估计

我们对个人主义在不同政府规范条件水平下死亡数和疫情各阶段的控制速度进行 95%置信区间估计来检验是否存在差异。高、低个人主义下的疫情死亡数和各阶段控制速度的 95%置信区间不重叠则表明存在个人主义的效应。

4.2 结果

4.2.1 个人主义对确诊数和死亡数的影响

无论政府规范取值是 0.1、0.3 还是 0.5 时，高个人主义下总的确诊数和死亡数均显著大于低个人主义(见图 9，政府规范 = 0.1，高个人主义(70)：总确诊数 95% CI = [3736.44, 3955.56]、死亡数 95% CI = [148.10, 157.90]，低个人主义(30)：总确诊数 95% CI = [1526.39, 1701.61]、死亡数 95% CI = [60.28, 67.72]；政府规范 = 0.3，高个人主义：总确诊数 95% CI = [3305.54, 3554.46]、死亡数 95% CI = [131.07, 140.93]、低个人主义：总确诊数 95% CI = [1273.68, 1418.32]、死亡数 95% CI = [50.67, 57.33]；政府规范 = 0.5，高个人主义：总确诊数 95% CI = [2975.13, 3242.87]、死亡数 95% CI = [119.73, 132.27]，低个人主义：总确诊数 95% CI = [1120.38, 1255.62]、死亡数 95% CI = [44.86, 51.14]；其他政

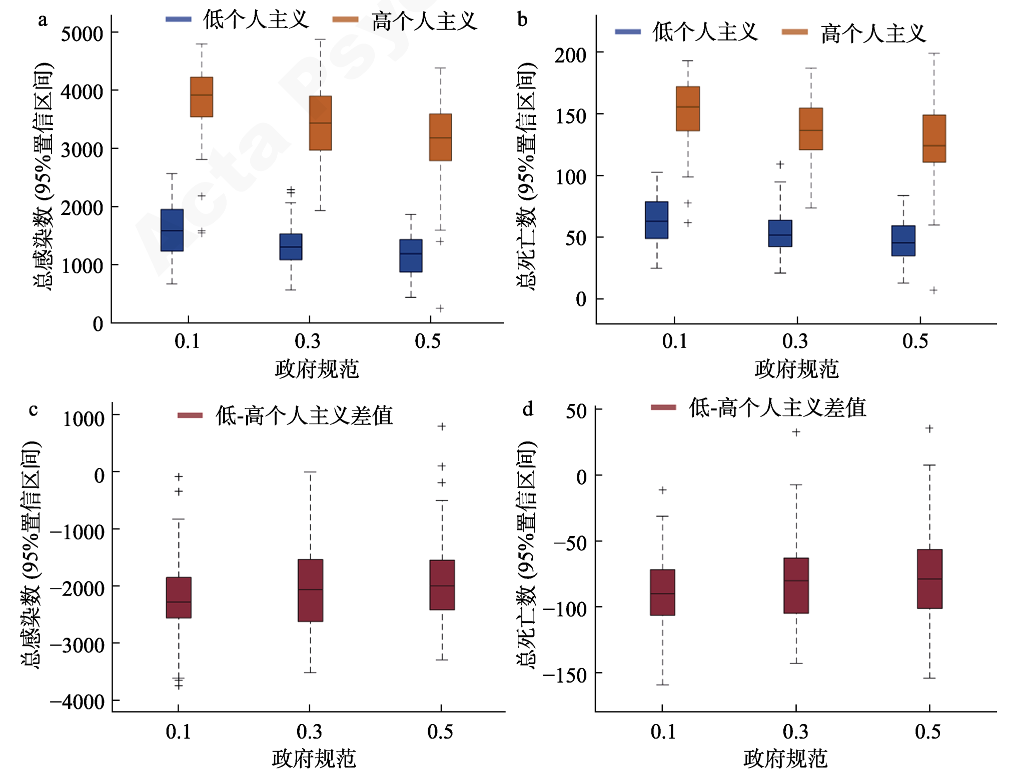


图 9 不同政府规范水平下高低个人主义在确诊数、死亡数的差异图

府规范取值对疫情情况和控制速度的影响效应一致, 详见网络版附录: 图 S5-S6)。

4.2.2 个人主义对各阶段控制速度的影响

(1) 疫情总控制速度

当政府规范为 0.1 时, 高低个人主义下的总控制速度没有显著差异(95% CI = [0.0178, 0.0182] vs. [0.0176, 0.0184])。然而在政府规范取值是 0.3、0.5 时, 高个人主义下的疫情的总控制速度均显著小于低个人主义(政府规范 = 0.3: 95% CI = [0.0188, 0.0192] vs. [0.0216, 0.0224] ; 政府规范 = 0.5: 95% CI = [0.0198, 0.0202] vs. [0.0236, 0.0244], 详见网络版附录)。

(2) 疫情前期控制速度

无论政府规范取值是 0.1、0.3 还是 0.5 时, 高个人主义下的疫情前期控制速度均显著小于低个人主义(政府规范 = 0.1: 95% CI = [0.0148, 0.0152] vs. [0.0166, 0.0174]; 政府规范 = 0.3: 95% CI = [0.0146, 0.0154] vs. [0.0176, 0.0184]; 政府规范 = 0.5: 95% CI = [0.0146, 0.0154] vs. [0.0176, 0.0184], 如图 10c-d)。

(3) 疫情后期控制速度

当政府规范为 0.3 时, 高低个人主义下疫情后期控制速度没有显著差异(95% CI = [0.0236, 0.0244] vs. [0.0234, 0.0246]); 在政府规范取值是 0.1时, 高个人主义下的疫情的后期控制速度大于低个人主义(95% CI = [0.0206, 0.0214] vs. [0.0134, 0.0146]); 然而在政府规范取值为 0.5 时, 高个人主义下的疫情的后期控制速度显著小于低个人主义(95% CI = [0.0266, 0.0274] vs. [0.0334, 0.0346], 如图 10e-f)。

在不同政府规范水平下, 个人主义对于疫情控制总速度(kt)和后期控制速度($k2$)的影响存在差异(图 10), 政府规范调节了个人主义对疫情总控制速度和后期控制速度的影响, 与研究 2 结果一致。为进一步考察政府规范对疫情后期控制速度的调节作用是否直接由于个人主义文化对运动人数比例 p%影响的系数 b 随着时间衰减, 导致疫情后期政府规范效应放大所带来的, 我们在高和低个人主义文化的条件下对系数 b 和确诊病例增长率作图(如图 S7a 和 b), 发现增长率随 b 系数的降低在不同的政府规范水平下无明显差异。因此, 政府规范对后期疫情控制速度的效应并非直接来源于系数 b 的定义, 而是复杂系统中各项规则相互作用的结果。

5 研究 4: 文化对疫情背景下违规流动倾向的影响

在研究 3 的演化博弈模型中个人主义文化影响个体流动性的假设在 COVID-19 实际情境中尚未得到实证研究支持。在研究 4 中我们验证以下假设:

H4a: 疫情情况下, 独立型自我建构取向和违规流动倾向之间显著正相关。

H4b: 在疫情情况下, 独立型自我建构取向和违规流动倾向之间的关系被死亡恐惧所中介。

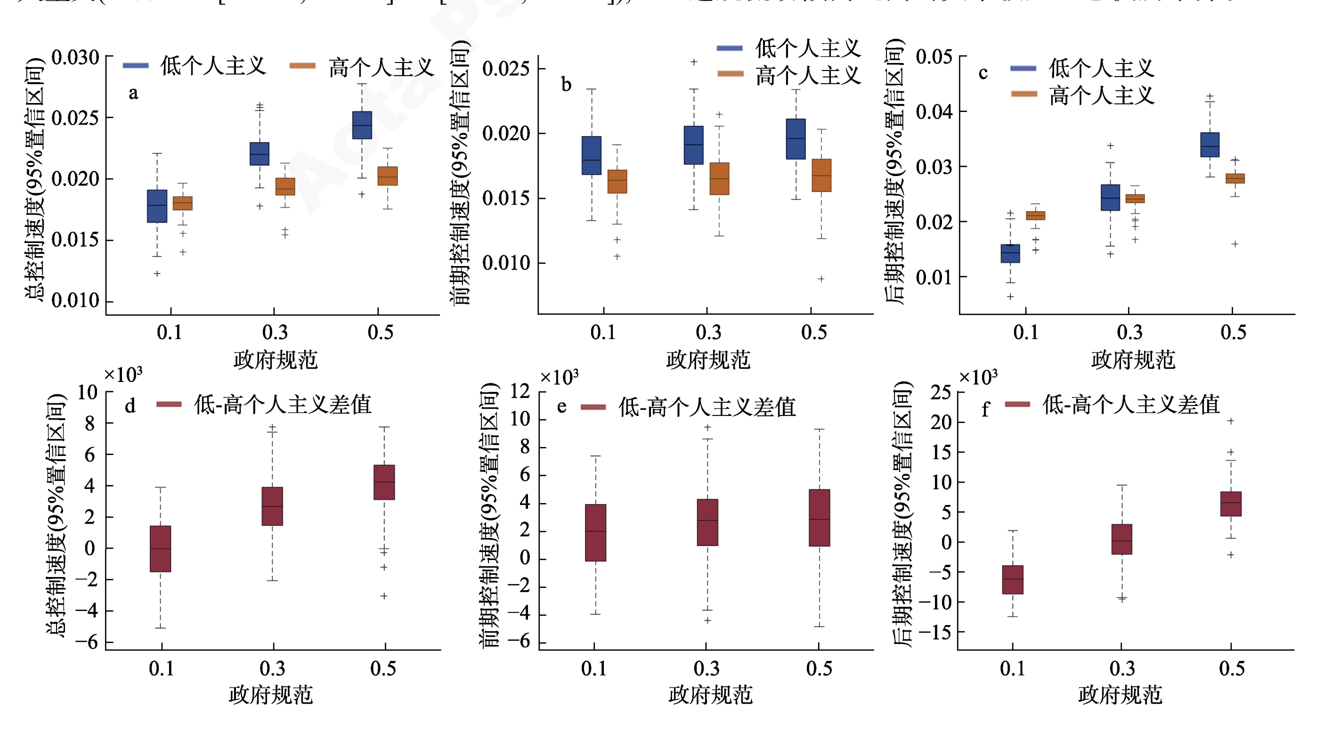


图 10　不同政府规范水平下高低个人主义在总体、前期、后期控制速度的差异

5.1 方法

5.1.1 被试

研究 4 包括在各国网络调查平台和各国合作者收集的来自 23 个国家的 1765 名被试(女性 707 名, 男性 1054 名, 被试年龄范围为 13~70 岁(M = 30.13, SD = 9.15), 实验前获得所有被试的知情同意, 且得到了伦理审查委员会的批准。当前样本量足够在 α = 0.05 的水平下, 提供 80%的效力检验中等效应量(d = 0.5)的个人主义文化与违规流动关联效应。

5.1.2 测量工具

(1)自我建构

自我建构与研究 2 一致, 由 Singelis (1994)设计的自我建构量表测量, 各国被试完成的分别是各国主流语言版本。

(2)对政府规范出行限制的违规流动倾向

被试需要根据 COVID-19 疫情背景回答: "假如一个人感染了新冠病毒, 被要求在家隔离, 但这个人的病情加重了。如果他/她继续呆在家里, 将有 50%的可能性会死亡, 但可以保证他/她不会传染别人。同时, 还有另一个选择: 即违反政府的要求, 为了获得更好的治疗而逃往医疗资源更好的地区。如果这样做的话, 这个人死亡的可能性将下降至 5%。但在移动的过程中, 有 50%的可能性会感染 10 名其他的人。如果您是这个人的话, 您将在多大程度上去往医疗条件更好的区域? "该量表为 7 点 Likert 式量表(1 = 极有可能, 7 = 极不可能), 题目为反向计分。

(3)对死亡的恐惧

被试需要根据 COVID-19 背景回答两道题目: "关于新冠疫情, 您有多担心自己被感染? "和"关于新冠疫情, 你在何种程度上感受到了对于死亡的恐惧? ", 该量表为 6 点 Likert 式量表(1 = 非常多, 5 = 非常少, 6 = 不了解新冠疫情), 得分为两个条目的均分, 题目皆为反向计分, 2 个条目的 α = 0.751。

(4)社会经济类变量

①政府规范

COVID-19 政府规范力度指标使用的是牛津大学预示政府控管力道的指标(OxCGRT: Oxford COVID-19 Government Response Tracker)。

② 23 个国家总人口/人口密度

23 个国家的总人口及人口密度数据来自于世界银行开放数据(WorldBank Data), 为 2014~2018 年的统计数据取平均值(见 https://data.worldbank.org/), 数据更均新于 2020 年 5 月 28 日。

③ 23 个国家老年人口比例

各个国家的老年人口比例是老年人口总数除以国家人口总数, 其中老年人口数取自世界卫生组织(World Health Organization)2015 年年龄在 65 岁以上的数据, 总人口数取自世界银行开放数据在 2014~2018 年的总人口数据统计平均值。

④ GDP

各个国家的人均 GDP 来自于世界银行开放数据(World Bank Open Data), 为 2014~2018 年的统计数据取平均值(见 https://data.worldbank.org/)。

5.1.3 数据分析处理

(1)分层线性模型—Hierarchical Linear Model (HLM 分析)

由于数据来自不同国家, 各国情况迥异, 同时国家内个体间存在差异, 所研究的数据具有明显的嵌套结构, 传统的线性回归模型无法分析此类分层模型, 因此我们采用分层线性模型同时考虑国家间差异及个体间差异进行统计分析。使用独立型/互依型自我建构作为自变量, 违规流动倾向作为因变量, 将政府效率、GDP、人口和密度等因素作为无关变量建立混合效应模型。

(2)中介分析

对死亡恐惧在自我建构与违规流动倾向间的中介效应进行检验时, 我们使用 SPSS 插件 PROCESS 3.0 中的模型 4 进行了中介分析(Hayes, 2017), 对中介效应进行检验时使用偏差校对非参数百分位 Bootstrap 法(迭代次数为 5000 次), 通过对中介效应建立置信区间来检验结果的显著性, 如果置信区间不包括 0 那么中介效应显著, 置信区间包括 0 说明中介效应不存在(MacKinnon, 2008)。

5.2 结果

5.2.1 自我建构和违规流动倾向的描述性统计分析

独立、互依自我建构还有违规流动倾向在不同国家的分布的箱线图结果如图 11 所示。此外我们对不同国家自我建构的值是否存在差异进行了检验, 我们发现独立型自我建构(F(22, 1742) = 14.67, p < 0.001)和互依型自我建构(F(22, 1742) = 14.11, p < 0.001)以及违规流动倾向(F(22, 1742) = 3.34, p < 0.001)在不同的国家之间存在明显的差异(详细结果见网络版附录)。

5.2.2 自我建构和违规流动倾向的关系

在控制了互依型自我建构、政府规范后, 独立型自我建构与违规流动倾向呈边缘显著正相关(B = 0.012, SE = 0.006, p = 0.061)。即独立型自我建构越

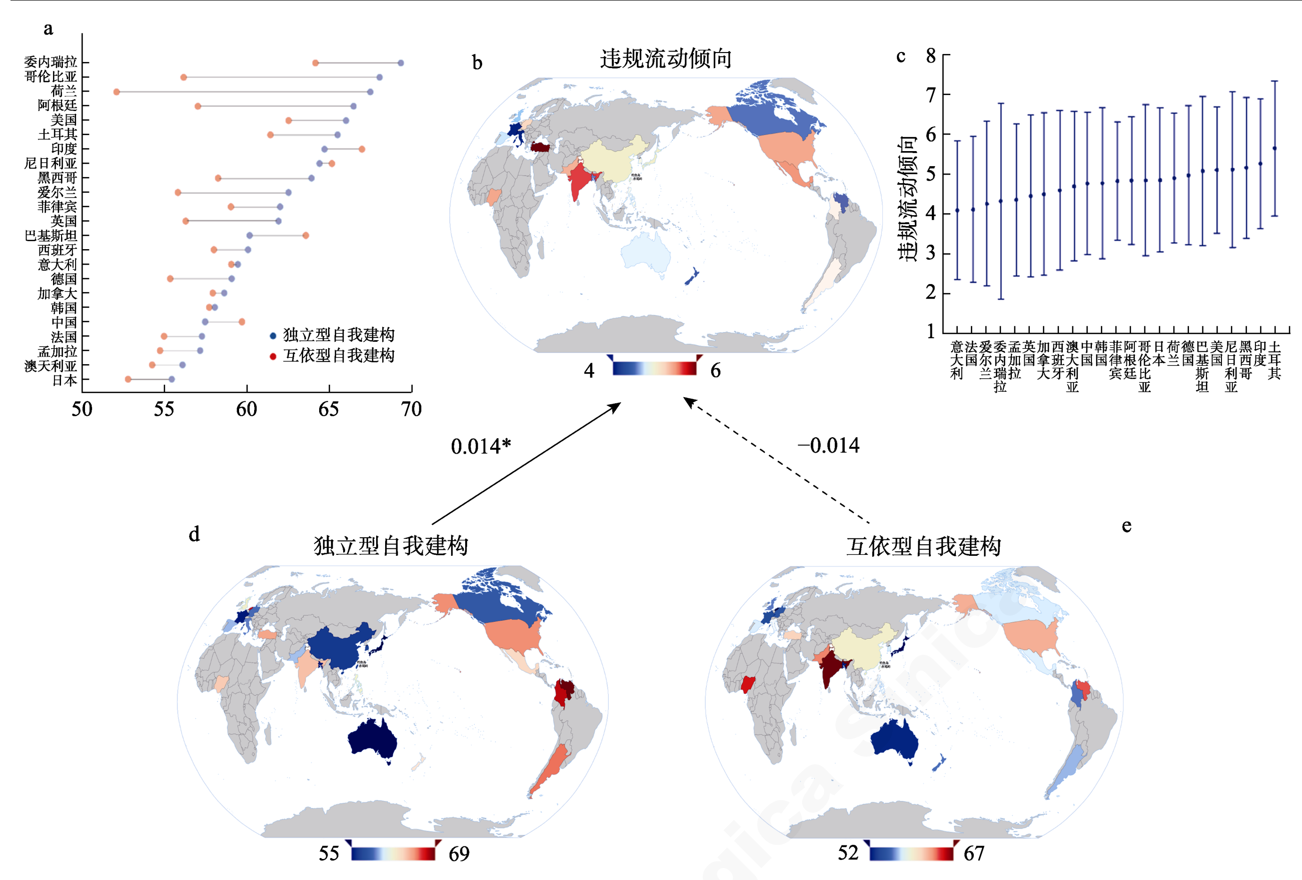


图 11　独立/互依型自我建构/违规流动倾向在不同国家的分布。a)独立型、互依型自我建构在不同国家的数值; b)违规流动倾向在不同国家得分的世界地图; c)违规流动倾向得分在不同国家分布图(误差线代表标准误); d、e)独立型、互依型在不同国家得分的世界地图。

高, 违规流动倾向程度越高; 进一步在控制了人均GDP、总人口、人口密度、老年比率等因素之后, 独立型自我建构和违规流动倾向之间的正相关显著(B = 0.014, SE = 0.006, p = 0.0487)。互依型自我建构与违规流动倾向间的关系在控制了独立型自我建构、政府规范以及各种社会类指标后没有显著关联(p > 0.05, 详见网络版附录表 S12)。

5.2.3　自我建构影响违规流动倾向—死亡恐惧的中介作用

为了检验死亡恐惧是否在独立型自我建构与违规流动倾向间起中介作用, 我们控制了互依型自我建构的影响。独立型自我建构影响违规流动倾向的总路径显著, B = 0.019, SE = 0.005, t = 4.032, p < 0.001, 95% CI = [0.009, 0.028]; 加入死亡恐惧后, 独立型自我建构对死亡恐惧的路径显著, B = 0.0067, SE = 0.0026, t = 2.609, p = 0.0092, 95% CI = [0.0017, 0.0117], 死亡恐惧对违规流动倾向的路径显著, B = 0.251, SE = 0.043, t = 5.83, p < 0.0001, 95% CI = [0.1664, 0.3351]。独立型自我建构影响违规流动倾向的直接路径显著, B = 0.0171, SE = 0.0046, t = 3.70, p = 0.0002, 95% CI = [0.0080, 0.0262]。Bootstrap 分析后得到的间接效应的 95%置信区间为 95% CI = [0.0003, 0.0033], 死亡恐惧在独立自我建构和违规流动倾向关系间的中介效应显著(见图 12)。

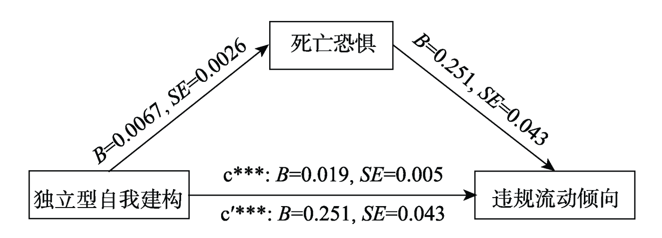


图 12　独立型自我建构影响违规流动倾向的中介路线图
注: *表示 p < 0.05, **表示 p < 0.01, ***表示 p < 0.001

为了验证数据是否由于在疫情阶段的同时测量可能导致共同方法偏差的问题, 我们对问卷题目(自我建构量表, 用于计算死亡控制得分的题目, 测量违规流动倾向的题目)进行共同方法偏差分析(周浩, 龙立荣, 2004), 结果发现第一公因子(成分)的方差解释百分比为 21.36%, 表明在本批数据中不存在严重的共同方法偏差问题。

6 讨论

6.1 文化对 COVID-19 的影响

个人主义对 COVID-19 的不利影响可以从个人主义文化下人们的行为特征来解释。个人主义优先强调个人需求与自由，人们对社交隔离等规范遵守程度较弱，而非药物干预措施在遏制 COVID-19 传播方面是有效的，严格的社交隔离策略限制人与人的接触从而减少继发感染的数量，例如在 COVID-19 疫情中新加坡和韩国通过民众自我居家隔离和公共卫生防范诊所网络成功控制了疫情的传播(Her, 2020; Wong et al., 2020)。此外由文化差异导致的口罩佩戴行为也对集体防疫至关重要，研究者发现，在个人主义地区有更低的口罩佩戴率。另外，其他关于文化对疫情影响的研究也在一定程度上支持了疫情发展的社会文化因素。例如，有研究关注了党派差异对防疫行为的影响。Allcott (2020)认为共和党人和民主党人在参与社交距离和采取其他措施来减少疾病传播的程度存在差异，共和党人较多的地区参与的社会距离较少，党派间巨大文化差异以及对个人风险和流行病未来道路的信念将导致的不同行为反应，最终影响病毒的传播结果(Painter & Qiu, 2020)。相比之下个人主义/集体主义比地理、人口因素、法律来源、宗教、信任、民主和其他文化维度等因素具有更好的解释度(Jiang et al., 2021)。

我们的研究结果证实了个人主义对第一波疫情早期控制的不利影响，但是应该指出的是随着传染病的大流行和政府干预，群众会对他们的行为进行适度调整，因此文化差异可以很好地解释大流行传播早期阶段的差异，但将其应用于其他条件时应保持谨慎。在后期个人态度和政府反应可能演变出适应环境的变化。而经济和技术因素，如疫苗在阻止病毒传播方面，个人主义文化也可能发挥作用(Conlon et al., 2021)。在寄生虫应激价值理论(Parasite Stress Theory of Values)和当前研究的提示下，全球日益增长的个人主义可能会使我们面临更高的传染病风险，可能会损害我们的包容性、创造力、权利和自由，导致我们的自由贸易和经济发展更加封闭、保守和不友好。因此我们需要在集体主义和个人主义之间取得平衡，不应该让大流行病阻止我们走向一个更开放和包容的世界。

6.2 政府规范的调节作用

尽管严格的社交距离策略被证明是有效的，该措施在许多国家实施得较慢，即使面对病例迅速增长很多政府都不愿采取社会距离政策，政府反应的差异可能根源于根本的文化差异，Alesina (2005)等人认为个人主义文化较高的社会倾向于进行低水平的政府干预。本研究通过仿真模拟实验发现，政府规范对不同文化下疫情控制效率差异的调节作用主要发生在疫情发展的后期阶段，这可能是由于模型中政府在疫情初期阶段还未介入，处于自然状态，群体间疫情发展情况的差异主要是文化的作用；在疫情发展后期政府介入，高个人主义文化下个体重视个人利益，对政府防控措施(隔离，保持社交距离等)遵守程度较低，政府干预的有效性受到文化的影响。先前研究发现，政府管控措施的有效性也取决于公众的遵从性(Perc et al., 2020)，这种遵从性在不同文化国家存在显著差异(van Bavel et al., 2020)。据 Civitarese (2020)报道，在意大利和巴西政府采取了居家政策后，街头和海滩上的游客数量显著增加。尽管美国公共卫生局建议社会隔离，但仍有 52%的美国成年人外出(Canning et al., 2010)。与我们模型模拟的结果相符。同时，作为对公众意愿的一种反应，个人主义社会政府在采取强制性措施时会更犹豫不决，从而导致反应延迟，即使政府采取了措施，个人主义文化下公民也更有可能违反这种措施。

6.3 死亡恐惧的中介效应

在本研究的研究 4 中，测量违规流动所用的题目描述的情境在疫情初期有充分的体现：疾病传播面广，隐性传播链多，缺乏有效的治疗方案，现有医疗资源不足以应对突然暴发的疫情的需求，部分地区出现医疗资源挤兑的现象(邓玮，董丽云，2021)。在这个时期如果个人发生感染，则很可能面临无法接受治疗的情况，因此本题目所描述的情境在本次疫情中具有真实性。当然也会存在其他不以治疗为目的的动机影响人们在疫情中的违规倾向，例如文化价值取向的差异，来自集体主义文化的个体相比于个人主义文化更容易接纳在公众场合佩戴口罩(Lu et al., 2021)；相比于紧致文化，松散文化的个体更倾向于不遵守防疫期间的规定(Kleitman et al., 2021)。这些研究结果都说明了文化价值观对人们违反(遵守)疫情管控的规定有着重要的影响。在本研究中，我们发现在疫情背景下个体的独立型自我建构取向越高，其违规流动倾向就越高，且这个关系受到死亡恐惧的中介。由于疫情这类突发事件导致个体死亡的不确定性增加，个人主

义文化促进了个体对死亡的恐惧, 在此背景下, 死亡恐惧可能通过道德推脱和利己辩解的机制, 使得个体免除了因违背道德标准而带来的心理冲突或压力(伍麟, 白仲琪, 2019), 从导致了违规流动倾向的增加。我们的研究结果与前人发现一致, 例如前人研究表明, 在个人主义观念盛行的地区人们对疫情管控措施(例如封锁街区, 保持社会距离等)的服从程度都比较低(Chen et al., 2021; Liu, 2021), 一定程度上印证了本研究结果的合理性。

6.4　自然、文化、行为、大脑、基因的复杂动态交互网络

过往有许多研究从生态视角探讨文化形成的机制, 提出了许多关于自然环境如何塑造文化的理论。例如, 病原体流行理论认为人们在面对高病原体疾病威胁时形成团体以保持更紧密的联系, 对外群体成员保持高警惕性, 加强了种族主义和群际冲突, 表现为偏好内群体成员和排斥外群体成员; 人们会表现出从众倾向以维护社会规范, 这些规范共识有减少疾病感染的社会屏障作用, 排斥不循规蹈矩有潜在传染风险的“异类”, 这是人们间接地对病原体威胁做出的反应, 促进了集体主义文化的形成(Schaller & Murray, 2010)。另一方面, 气候经济理论将气候看作人生存环境中的需求, 而经济可以满足这种需求(Fischer & van de Vliert, 2011)。恶劣的气候对于低收入居民是威胁性的, 他们通过内部合作获取资源从而满足需求来制定和实现目标, 团结合作导致更高的内部承诺和偏袒, 对风险表现出厌恶因此采取更保守的态度和行为, 这些促进了集体主义文化; 高收入居民认为恶劣的气候具有挑战性并通过经济资源弥补了气候需求, 依靠自己制定和实现目标, 对风险表现出偏好并希望通过个人探索寻求更好的结果, 减少了人际交往, 促进了个人主义文化(van de Vliert & Postmes, 2012)。农耕/畜牧理论认为, 环境对文化的影响不仅表现在应对环境威胁的方式上, 还表现在适应环境过程中形成的生存方式。农耕/畜牧理论探究了不同生产方式对于文化的影响(Uskul et al., 2008)。农民与其耕种的土地密切相关, 这些资本流动性弱、不好转移, 农业需要团体协作, 社会成员形成联系紧密、相依存的社会体系, 促进整体性思维方式, 个体注意广泛的社会线索。牧民流动性较强、更多依靠个人决策和自主权, 社会成员形成联系松散、自主的个人网络, 受社会角色约束较少, 培养了分析性思维, 个体专注于对象而不过多关注情境背景(Uskul et al., 2008)。稻米理论则提出水稻种植需要农民合作建设灌溉系统、协调各人用水与耕作日程, 因此稻农倾向于建立基于互惠的紧密联系与规范, 水稻种植区域发展出相互依赖以及紧密的文化。而小麦的种植基本不需精细灌溉, 麦农能自给自足, 与他人合作较少, 会发展出更独立以及松散的文化(Talhelm et al., 2014; Talhelm & Oishi, 2018)。在本研究中, 我们扩展了以往关于疫情发展的研究, 通过多学科多方法交叉来验证了文化对疫情控制的影响。病原体(自然)能够通过行为促进特定文化的形成, 反过来特定文化同样能够影响疫情, 在面对生态环境的变化时文化作为一种调节机制, 生物可以调节自身行为来适应并改变环境, 支持了 NBC 循环模型, 扩展了关于自然、行为和文化的研究。

文化除了跟外显(phenotype)的自然环境有关外, 还会影响内表型(Endophenotype)——大脑和基因型(genotype)——基因。文化神经科学关注文化特异性的行为模式与神经机制的关联, 韩世辉提出“文化−行为−大脑”循环模型(Culture-Behavior-Brain loop model, CBB), 用文化、行为和大脑关系的整合性统一理论来解释它们之间的动态交互(Han & Ma, 2015)。文化使得人的行为变得情景化塑造对应的脑区功能, 反之大脑会指导个体做出与现有文化及规范适应的行为实践。Chiao 提出文化和大脑之间直接的交互是文化−行为适应的神经基础。在基因的层面上, 文化−基因协同进化模型(Gene-Culture coevolution model)认为基因和文化相互影响, 强调了大脑中基因决定特定行为倾向与文化的双向运动关系(Ross & Richerson, 2014)。基因和自然更多的是生物上的自然选择的过程, 自然选择使种群产生的适应新环境的有利基因型得到发展, 不断对环境产生响应。基因、文化、生态是密不可分的, 基因提供了后天形成各种行为的基础, 而行为又会受到特定文化的影响, 文化在长期进化过程中形成一种无形规则指导人们适应、改变生态和自身, 因此基因−文化−生态的统一共同体对于维持生态系统的持续稳定性有显著意义。基因同样能够影响大脑的发育, 大脑的发育是基因特异性表达的结果(Pennisi, 2018)。并且基因在 CBB 环路中起到了重要的基础作用, 除此之外还会对 CBB 环路中各部分产生影响(Tucker-Drob & Briley, 2014)。

因此自然、文化、行为、大脑、基因处于一个复杂的动态交互网络中, 其中基因是基础的基因型 genotype、大脑是内表型 Endophenotype、文化、自

然、行为则是我们可以直接观察到的表型phenotype，彼此之间相互影响形成复杂的动态交互网络。在以往的研究中，这五个方面(自然、文化、行为、大脑和基因)分别散落与不同的理论模型之中，在本文中我们将 NBC 模型和此前的其他模型结合起来(图 13)，未来的研究应尽可能同时考虑这五个层次因素之间的关系和相互作用，以更全面地去理解自然、行为和人类社会之间的相互作用和动态联系。我们可以解释人类自身发展的过程，同样可以从不同的角度阐述人类文化的历程以及生态在历史中的变化，对于解释社会现实和人类行为具有重要的意义。

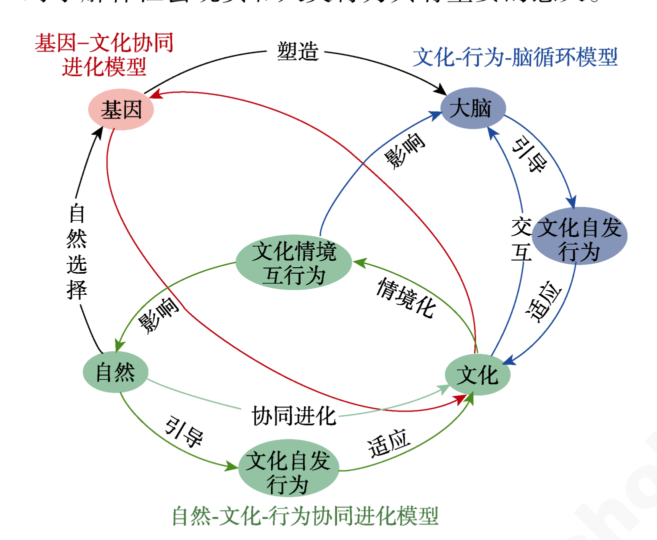


图 13 自然、文化、行为、大脑、基因协同演化图

6.5 基于演化博弈模型实现机制探究的有效性

Gelfand 等人通过演化博弈模型对 COVID-19 进行模拟，发现合作规范会对 COVID-19 的死亡人数产生影响。最近关于 ABM 的文献综述表明该模型已被用于广泛的科学领域，包括各种流行病的研究，在 COVID-19 背景下同样适用(Cuevas, 2020)。我们在既有研究的基础上通过操纵演化博弈模型的参数来探究社会因素对疫情的影响，对文化和社会规范进行量化行为表征，这对于前面已有的传统研究方法起到了补充作用，为我们通过跨学科方法创造性的解决问题带来了新的启示。

7 研究意义、不足与展望

实验结果表明独立型社会取向文化会对第一波 COVID-19 疫情产生不利的影响，具体表现为：(1)个人主义文化和更高的 COVID-19 死亡率相关，并且对应较慢的疫情前期控制速度，但是在疫情后期这种影响不明显。(2)政府规范能够在文化和疫情的控制过程中起到缓冲作用，通过影响人们的行为规范来促进疫情的控制过程。(3)疫情情况下，文化价值观通过影响个体面对疫情的死亡恐惧，从而影响个体违规流动，最终影响整体疫情管控效率。本研究从多角度出发，对于理解文化差异对于疫情环境的影响具有重要的理论意义。文化能够预测人们面对 COVID-19 时的结果，为各国在未来应对全球公共卫生危机提供了重要的预测指标，在进行公共卫生项目实施时将文化的重要作用考虑在内可以提高人群需求的满足能力(Kreuter & Mcclure, 2004)，这些发现可能有助于通过政府引入和管理有益的规范、协调社会行动来有效应对 COVID-19 的影响。

虽然我们的研究是基于 COVID-19 背景，但这些结论也仍然适用于其他传染病。由于我们对病毒本身及其传播方式的知识仍非常有限，我们只考虑了一些可能对病毒传播产生影响的基本环境和社会因素，决定病毒传播的个人和集体公共行为在不同的亚群间存在差异还受到政策规范之外的许多因素的影响(Lunn et al., 2020)。这些均表明我们需要政府采取干预来加强与行为相关的规范，例如社交隔离和戴口罩(特别是在松散文化中)，通过政府规范的力量来更好的控制疫情，这对于帮助不同文化背景群体在未来应对 COVID-19 威胁至关重要，为后续的疫情发展提供了启示性意义。

动态交互的演化博弈模型从因果动力学角度为病原体控制的内在机制做出了更具体的解释。虽然目前仍然存在一定的争议，例如简单模型真的能反映真实世界的现状吗，是否有其他影响病毒传播的因素被忽略了？演化博弈模型生成与真实世界一致的结果，但不能说明有关机制的准确性与唯一性，但至少为我们探讨文化的疫情发展的影响提供了新的思路以及有力证据(Jackson, 2017)。

研究 4 中我们所采集的数据是自然观察性数据，没有进行随机分组和实验操纵，无法完美控制混淆因素的影响，探讨文化价值观对疫情发展的影响还有更好的研究方法。例如基于疫情发展纵向追踪的实验设计和数据采集(Petherick et al., 2021)，通过这样的方式我们可以更好地考察因果关系。未来的研究可以考虑设计纵向追踪实验，以进一步验证实验的发现和结论。

参 考 文 献

Alesina, A., & Angeletos, G. M. (2005). Fairness and

redistribution. *American Economic Review, 95*(4), 960−980.

Allcott, H., Boxell, L., Conway, J. C., Gentzkow, M., Thaler, M., & Yang, D. Y. (2020). Polarization and public health: Partisan differences in social distancing during the coronavirus pandemic. *Journal of Public Economics, 191,* 104254. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2020.104254

Anderson, B. (2020). Cultural geography III: The concept of 'culture': *Progress in Human Geography, 44*(3), 608−617.

Becvar, D. S. (2005). Cancer in context: A commentary. *Families Systems & Health, 23*(2), 148−154.

Benabou, R., & Tirole, J. (2006). Belief in a just world and redistributive politics. *Quarterly Journal of Economics, 121*(2), 699−746.

Bergua, M., Luis-Arteaga, M., & Escriu, F. (2008). Comparison of logistic regression and growth function models for the analysis of the incidence of virus infection. *Spanish Journal of Agricultural Research, 6*(1), 170−176.

Canning, D., Karra, M., Dayalu, R., Guo, M., & Bloom, D. E. (2010). The association between age, COVID-19 symptoms, and social distancing behavior in the United States. *MedRxiv.* 10.1101/2020.04.19.20065219

Cao, C., Li, N., & Liu, L. (2020). Do national cultures matter in the containment of COVID-19? *International Journal of Sociology and Social Policy, 40,* 939−961.

Cheeyandira, A. (2020). The effects of COVID-19 pandemic on the provision of urgent surgery: A perspective from the USA. *Journal of Surgical Case Reports, 2020*(4), 1−2.

Chen, C., Frey, C. B., & Presidente, G. (2021). Culture and contagion: Individualism and compliance with COVID-19 policy. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *190*, 191−200.

Chiao, J. Y., Harada, T., Komeda, H., Li, Z., Mano, Y., Saito, D., … Iidaka, T. (2010). Dynamic cultural influences on neural representations of the self. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(1), 1−11.

Civitarese, J. (2020). *Social distancing under epistemic distress.* Available at SSRN 3570298. 10.2139/ssrn.3570298.

Cohen, A. B., Wu, M. S., & Miller, J. (2016). Religion and culture individualism and collectivism in the east and west. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 47*(9), 1236−1249.

Cohen, J., & Kupferschmidt, K. (2020). Countries test tactics in 'war' against COVID-19. *Science*, *367*(6484), 1287−1288

Conlon, A., Ashur, C., Washer, L., Eagle, K. A., & Bowman, M. A. H. (2021). Impact of the influenza vaccine on COVID-19 infection rates and severity. *American Journal of Infection Control,* (5), 1−33.

Cuevas, E. (2020). An agent-based model to evaluate the COVID-19 transmission risks in facilities. *Computers in Biology and Medicine, 121,* 103827.

Dehning, J., Zierenberg, J., Spitzner, F. P., Wibral, M., Neto, J. P., Wilczek, M., & Priesemann, V. (2020). Inferring change points in the spread of COVID-19 reveals the effectiveness of interventions. *Science, 369*(6500), eabb9789.

Deng, W., & Dong. L.-Y. (2021). Collaborative emergency: "medical squeeze" and cooperative management in major epidemic—take the COVID-19 crisis as an example. *Journal of South China University of Technology (Social Science Edition)*, *23*(1), 104−112.

[邓玮, 董丽云. (2021). 协同式应急:重大疫情中的医疗挤兑与合作治理——以新冠肺炎疫情为例. *华南理工大学学报(社科版)*, *23*(1), 104−112.]

Fincher, C. L., Thornhill, R., Murray, D. R., & Schaller, M. (2008). Pathogen prevalence predicts human cross-cultural variability in individualism/collectivism. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 275*(1640), 1279−1285.

Fischer, R., & van de Vliert, E. (2011). Does climate undermine subjective well-being? A 58-nation study. *Personality and Social Psychology Bulletin, 37*(8), 1031−1041.

Gelfand, M. J., Jackson, J. C., Pan, X., Nau, D., Pieper, D., Denison, E., … Wang, M. (2021). The relationship between cultural tightness-looseness and COVID-19 cases and deaths: A global analysis. *The Lancet Planetary Health, 5*(3), e135−e144.

Han, S., & Ma, Y. (2015). A culture-behavior-brain loop model of human development. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(11), 666−676.

Haxby, J. V., Connolly, A. C., & Guntupalli, J. S. (2014). Decoding neural representational spaces using multivariate pattern analysis. *Annual Review of Neuroscience*, *37*, 435−456.

Hayes, A. F. (2017). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach.* Guilford publications.

Her, M. (2020). How is COVID-19 affecting South Korea? What is our current strategy? *Disaster Medicine and Public Health Preparedness, 14*(5), 684−686.

Hulme, M. (2014). Attributing weather extremes to 'climate change': A review. *Progress in Physical Geography, 38*(4), 499−511.

Huynh, T. L. D. (2020). Does culture matter social distancing under the COVID-19 pandemic? *Safety Science, 130*(130), 104872.

Jackson, J. C., Rand, D., Lewis, K., Norton, M. I., & Gray, K. (2017). Agent-based modeling. *Social Psychological and Personality Science, 8*(4), 387−395.

Jiang, S., Wei, Q., & Zhang, L. (2021). Individualism vs. collectivism and the early-stage transmission of COVID-19. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3646229 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3646229

Kearl, M. C., & Harris, R. (1982). Individualism and the emerging "modern" ideology of death. *OMEGA−Journal of Death and Dying*, *12*(3), 269−280.

Kemmelmeier, M., Wieczorkowska, G., Erb, H. P., & Burnstein, E. (2002). Individualism, authoritarianism, and attitudes toward assisted death: Cross‐cultural, cross-regional, and experimental evidence. *Journal of Applied Social Psychology*, *32*(1), 60−85.

Kleitman, S., Fullerton, D. J., Zhang, L. M., Blanchard, M. D., Lee, J., Stankov, L., & Thompson, V. (2021). To comply or not comply? A latent profile analysis of behaviours and attitudes during the COVID-19 pandemic. *Plos One*, *16*(7), e0255268.

Kreuter, M. W., & McClure, S. M. (2004). The role of culture in health communication. *Annual Review of Public Health, 25*(1), 439−455.

Kriegeskorte, N., Mur, M., & Bandettini, P. A. (2008). Representational similarity analysis−connecting the branches of systems neuroscience. *Frontiers in Systems Neuroscience, 2*, 4.

Lai, S., Ruktanonchai, N. W., Zhou, L., Prosper, O., Luo, W., Floyd, J. R., … Du, X. (2020). Effect of non-pharmaceutical interventions to contain COVID-19 in China. *Nature, 585*(7825), 410−413.

Liu, J. H. (2021). Majority world successes and European and American failure to contain COVID-19: Cultural collectivism and global leadership. *Asian Journal of Social Psychology*, *24*(1), 23−29.

Lu, J. G., Jin, P., & English, A. S. (2021). Collectivism predicts mask use during COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(23). https://doi.org/10.1073/pnas.

2021793118

Lunn, P. D., Belton, C. A., Lavin, C., McGowan, F. P., Timmons, S., & Robertson, D. A. (2020). Using behavioral science to help fight the coronavirus. *Journal of Behavioral Public Administration*, *3*(1). https://doi.org/10.30636/jbpa.31.147

Macal, C. M., & North, M. J. (2009). Agent-based modeling and simulation. *In Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*. IEEE. Austin, TX, USA.

MacKinnon, D. P. (2008). *Multivariate applications series. Introduction to statistical mediation analysis*. Taylor & Francis Group/Lawrence Erlbaum Associates.

Markus, H. R., & Kitayama, S. (2010). Cultures and selves: A cycle of mutual constitution. *Perspectives on Psychological Science, 5*(4), 420−430.

Messner, W. (2020). The institutional and cultural context of cross-national variation in COVID-19 outbreaks. *Medrxiv*. https://doi.org/10.1101/2020.03.30.20047589

Murray, D. R., & Schaller, M. (2010). Historical prevalence of disease within 230 geopolitical regions: A tool for investigating origins of culture. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *41*, 99−108.

Nisbett, R. E., Peng, K., Choi, I., Norenzayan, A., Zhamkochyan, M. S., & Magun, V. S. (2011). Culture and systems of thought: Comparison of holistic and analytic cognition. *Psikhologicheskii Zhurnal, 32*(1), 55−86.

Oyserman, D., Coon, H. M., & Kemmelmeier, M. (2002). Rethinking individualism and collectivism: Evaluation of theoretical assumptions and meta-analyses. *Psychological Bulletin, 128*(1), 3−72.

Painter, M., & Qiu, T. (2020). Political beliefs affect compliance with covid-19 social distancing orders. *Covid Economics*, *4*, 103−123.

Pennisi, E. (2018). Trio of genes supercharged human brain evolution, *Science, 372*(6544), 1−4.

Perc, M., Miksić, N. G., Slavinec, M., & Stožer, A. (2020). Forecasting COVID-19. *Frontiers of Physics in China, 8,* 127.

Petherick, A., Goldszmidt, R., Andrade, E. B., Furst, R., Hale, T., Pott, A., & Wood, A. (2021). A worldwide assessment of changes in adherence to COVID-19 protective behaviours and hypothesized pandemic fatigue. *Nature Human Behaviour*, *5*(9), 1145−1160.

Popal, H., Wang, Y., & Olson, I. R. (2019). A guide to representational similarity analysis for social neuroscience. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *14*(11), 1243−1253.

Prorokova, T. (2019). Review of a cultural history of climate change. *Journal of Ecological Anthropology, 20*(1), 6.

Roos, P., Gelfand, M., Nau, D., & Lun, J. (2015). Societal threat and cultural variation in the strength of social norms: An evolutionary basis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes, 129*(1), 14−23.

Popal, H., Wang, Y., & Olson, I. R. (2019). A guide to representational similarity analysis for social neuroscience. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *14*(11), 1243−1253.

Ross, C. T., & Richerson, P. J. (2014). New frontiers in the study of human cultural and genetic evolution. *Current Opinion in Genetics & Development, 29,* 103−109.

Schaller, M., & Murray, D. R. (2010). Infectious diseases and the evolution of cross-cultural differences. *Evolution, Culture, and the Human Mind,* 243−56.

Seymour, J. E., French, J., & Richardson, E. (2010). Dying matters: Let's talk about it. *BMJ, 341*(7774), 646−648.

Singelis, T. M. (1994). The measurement of independent and interdependent self-construals. *Personality and Social Psychology Bulletin, 20*(5), 580−591.

Talhelm, T., & Oishi, S. (2018). How rice farming shaped culture in southern China. *Socioeconomic Environment and Human Psychology, 21*(3), 53−76.

Talhelm, T., Zhang, X., Oishi, S., Shimin, C., Duan, D., Lan, X., & Kitayama, S. (2014). Large-scale psychological differences within China explained by rice versus wheat agriculture. *Science, 344*(6184), 603−608.

Tucker-Drob, E. M., & Briley, D. A. (2014). Continuity of genetic and environmental influences on cognition across the life span: A meta-analysis of longitudinal twin and adoption studies. *Psychological Bulletin, 140*(4), 949−979.

Uskul, A. K., Kitayama, S., & Nisbett, R. E. (2008). Ecocultural basis of cognition: Farmers and fishermen are more holistic than herders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105*(25), 8552−8556.

van Bavel, J. J., Baicker, K., Boggio, P. S., Capraro, V., Cichocka, A., Cikara, M., … Willer, R. (2020). Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. *Nature Human Behaviour*, *4*(5), 460−471.

van de Vliert, E., & Postmes, T. (2012). Climato-economic livability predicts societal collectivism and political autocracy better than parasitic stress does. *Behavioral and Brain Sciences*, *35*(2), 94.

Williams, L., Rasmussen, S., Kleczkowski, A., Maharaj, S., & Cairns, N. (2015). Protection motivation theory and social distancing behaviour in response to a simulated infectious disease epidemic. *Psychology Health & Medicine, 20*(7), 832−837.

Wong, J. E. L., Leo, Y. S., & Tan, C. C. (2020). COVID-19 in Singapore-current experience: Critical global issues that require attention and action. *JAMA, 323*(13), 1243−1244.

Wu, L., & Bai, Z. (2019). Why do individuals tend to conduct immoral behaviors repeatedly? − Based on psychology interpretation. *Journal of Central China Normal University (Humanities and Social Sciences). 58*(2), 184−192.

[伍麟, 白仲琪. (2019). 为何不道德行为容易重复发生?——基于心理学的解释. *华中师范大学学报(人文社会科学版), 58*(2), 184−192.]

Zhou H., Long L. R. (2004). Statistical remedies for common method biases. *Advance in Psychological Science, 12*(6), 942−950.

[周浩, 龙立荣. (2004). 共同方法偏差的统计检验与控制方法. *心理科学进展, 12*(6), 942−950.]

The impact of individualism on the efficiency of epidemic control and the underlying computational and psychological mechanisms

HUANG Liqin, SUN Yin, LUO Siyang

(*Department of Psychology, Sun Yat-sen University, Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract

Ecology can shape the formation of a particular culture through individual natural adaptive behavior. In different cultures, culturally contextualized behavior can also modify the environment. In the present ecological environment, the spread of COVID-19 represents a global public health crisis. However, some nations appear to be more effective at limiting the spread of the virus and decreasing mortality rates. The purpose of this study was to explore cross-cultural differences in the response to the COVID-19 pandemic, thereby substantiating the influence of culture on the ecological natural environment. We hypothesized that an independent society-oriented culture was not conducive to a successful pandemic response.

Study 1 explored the correlation between individualism and the total number of deaths, deaths per million, and morality rates in 73 countries. In Study 2, we further modeled the cumulative confirmed cases of COVID-19 over time in 31 provinces in China, using a logistical model to obtain indicators of efficiency of epidemic control, and we explored the relationship between independent self-construal and the speed of pandemic control. In Study 3, we simulated the pandemic process through agent-based modeling (ABM), which verified the influence of individualism and determined how government norms regulated the controlling speed of the pandemic. Based on ABM in Study 3, in Study 4, we used a hierarchical linear model to further explore how culture influenced escape behavior, which violated government regulations in the context of the COVID-19 pandemic with, and then we tested the mediating role of fear of death.

In Study 1, individualism scores were positively correlated with cumulative COVID-19 deaths, cumulative deaths per million, and mortality. In Study 2, independent self-construal was negatively correlated with the controlling speed in the early stage of the pandemic in China. However, there was no significant relationship between interdependent self-construal and COVID-19 pandemic control speed. Study 3 simulated the process of the pandemic through an agent-based model and found that individualism was positively correlated with the number of confirmed cases and deaths and was negatively correlated with the speed of the early controlling stage, which was regulated by government norms. In Study 4, we found that individualism can increase the degree of escape behavior when individuals are facing the COVID-19 pandemic. This process was mediated by fear of death.

This paper revealed the influence of culture on the ecological environment from the perspective of pathogen prevalence, thereby verifying the nature-behavior-culture coevolution model. It also provides important predictors for countries to respond to the global public health crisis. In a more complex dynamic interaction network combining nature, culture, behavior, brain and genes, culture interacts with other factors and may help to explain ecological changes in history, as well as the course of human history, social development and human behaviors.

Key words culture, individualism, illegal mobility, government regulation, epidemic control, Agent Based Modeling, fear of death

补充材料:

个人主义文化价值观对疫情控制的影响及其计算心理机制

研究 1

方法

(1)个人主义

个人主义来自于 Hofstede 文化维度理论, 本研究中所用到的个人主义得分来源于 Cultures and Organizations, Software of the Mind 第三版(https://www.hofstede-insights.com/, pages255~258)。个人主义的得分与 6 道与工作目标相关的题项有关, 问卷中需要被试回答: “试想在一份理想的工作中, 以下这些因素将对你有多重要: 个人时间、自由、挑战、训练、物理环境和才能的施展, 请忽视你现有工作中这些因素的实现程度”, 该量表为 7 点 Likert 式量表(1 = 非常重要, 7 = 非常不重要)。最终某个国家在个人主义上的得分并非简单的将 6 个问题的得分相加, 而是通过因子分析得到原始数值后将该值乘以 25 再加 50, 由此得到每个国家最终的个人主义得分, 为正向记分。

(2) 73 个国家总人口/人口密度

73 个国家的总人口及人口密度数据来自于世界银行开放数据, 为 2014~2018 年的统计数据取平均值(见 https://data.worldbank.org/), 数据更均新于 2020 年 5 月 28 日。

(3) 73 个国家 COVID-19 数据

COVID-19 的数据来源于世界卫生组织官网, (https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports)。记录了从 2020 年 1 月 24 日开始截止到 6 月 19 日第一波疫情, 发生 COVID-19 的 73 个国家每天的累计死亡人数和确诊人数, 包括阿根廷、澳大利亚、奥地利、孟加拉、比利时、巴西、保加利亚、加拿大、智利、中国、哥伦比亚、哥斯达黎加、克罗地亚、捷克、丹麦、多明尼加共和国、厄瓜多尔、埃及、爱沙尼亚、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、冰岛、印度、印度尼西亚、伊朗、伊拉克、爱尔兰、以色列、意大利、日本、约旦、科威特、拉脱维亚、黎巴嫩、立陶宛、卢森堡、马来西亚、墨西哥、摩洛哥、荷兰、新西兰、尼日利亚、挪威、巴基斯坦、巴拿马、秘鲁、菲律宾、波兰、葡萄牙、卡塔尔、罗马尼亚、俄罗斯、沙特阿拉伯、塞尔维亚、新加坡、斯洛伐克、斯洛文尼亚、南非、韩国、西班牙、瑞典、瑞士、泰国、土耳其、乌克兰、阿拉伯联合酋长国、英国、美国、乌拉圭、委内瑞拉一共 73 个国家。

(4)其他控制变量

各个国家的老年人口比例是老年人口总数除以国家人口总数, 其中老年人口数取自世界卫生组织(World Health Organization) 2015 年年龄在 65 岁以上的数据, 总人口数取自世界银行开放数据在 2014~2018 年的总人口数据统计平均值。

各个国家的人均 GDP 来自于世界银行开放数据(World Bank Open Data), 为 2014~2018 年的统计数据取平均值(见 https://data.worldbank.org/)。

COVID-19 政府规范力度指标使用的是 Oxford COVID-19 Government Response Tracker (OxCGRT: 牛津大学预示政府控管力道的指标), 对从有政府管控指标当天起到研究 1 中截至 6 月 19 日第一波疫情取平均值, 获得各个国家政府规范的指标值。详见(https://www.bsg.ox.ac.uk/research/research-projects/covid-19-government-response tracker#data)。

数据分析处理

(1)偏相关分析

不同国家人口总数存在较大差异, 为了避免 COVID-19 数据与国家人口规模混淆, 我们将国家总死亡数除以总人口数获得每百万死亡数。死亡率等于死亡人数除以总确诊人数。排除国家人口密度的因素, 我们将其作为控制变量对个人主义和 COVID-19 死亡相关指标做偏相关分析。COVID-19 病例的数量在某些国家可能存在漏报, 检测与漏报密切相关, 因此检测率较高的国家更准确地跟踪了病毒(Flaxman, Mishra, Gandy, Unwin, Coupland, & Mellan, et al., 2020)。我们使用由 Russell (2020)等人设计的漏报指数, 获取了每个国家的调整的病死率(CFR), 该比率是根据入院与死亡之间的延迟进行调整的, 见 https://github.com/thimotei/CFR_calculation)。避免极端值带来的影响, 我们对每个对死亡有关的指标进行极端值的检验, 若存在超过均值三个标准差的极端值, 将其剔除再次重复验证结果是否保持一致。

(2)表征相似性分析(Representational Similarity Analysis-RSA)

如图 S2, (A)中变量 X 和 Y 之间有较高的线性相关关系(r = 0.707), 但其表征相似性分析结果则是变量 Y 和 X 的表征相似性矩阵之间的相似性为 0; (B)中变量 X 和 Y 之间的线性相关关系很低(r = 0), 但其表征相似性分析结果则是变量 Y 和 X 的表征相似性矩阵之间有中等的相似性(r = 0.284)。

我们对不同国家个人主义的相似性矩阵和疫情死亡指标的相似性矩阵的相似性进行检验。首先对个人主义得分和疫情死亡有关指标进行标准化处理, 对 73 个不同国家的个人主义得分和疫情死亡指标分别构造一个 73×73 的差异性矩阵(Representational Difference Matrix

– RDM) (对不同国家进行相互比较，用距离度量来计算，形成一个沿对角线对称的差异性矩阵，对角线的值为 0) (Kriegeskorte et al., 2008)。其次，我们用矩阵中距离最大的值减去差异性矩阵中的每一个值(形成一个对角线为最大值的相似性矩阵)，再将整个矩阵同时除以最大值，将其转换为对角线为 1 的一个 73×73 的相似性矩阵(Representational Similarity Matrix - RSM)。最后，我们对个人主义得分和疫情死亡指标的相似性矩阵进行比较，通过 Pearson 相关系数来量化两个相似性矩阵之间的匹配度。为了避免重复利用数据，在比较相似性矩阵时，只在上三角区域(或相当于下三角区域)的值上计算相关性(每个国家之间的相似性只会用到一次，由于不同矩阵关于 1 的对角线是对称的，所以必须排除对角线的三角形)。

结果

由于美国的总死亡数(z = 6.86)、法国的死亡率(z = 3.56)和比利时的每百万人死亡数(z = 4.18)均超过均值 3 个标准差分布(见附录描述性统计分析结果)，我们将其作为极端值剔除。在剔除极端数据后偏相关结果保持不变：个人主义得分与总死亡人数呈显著正相关(r = 0.26, p = 0.028)，与每百万累计死亡人数呈显著正相关(r = 0.44, $p < 0.001$)，并且与死亡率也呈显著正相关(r = 0.40, $p < 0.001$)，排除了极端值对于结果的干扰，见表 S3。

剔除极端值后再次进行表征相似性分析，我们得到了同样的结论：不同国家之间的个人主义相似性矩阵与总死亡人数(r = 0.11, $p < 0.001$)、每百万死亡数(r = 0.26, $p < 0.001$)和死亡率(r = 0.23, $p < 0.001$)的相似性矩阵之间仍然有显著的正相似性，排除了极端数据对于结果的干扰(剔除版的结果在计算个人主义与总死亡数、死亡率和每百万人死亡数的偏相关时，分别剔除了美国、法国和比利时的数据)。

研究 2

方法

(1)模型拟合

一种常见的流行病研究方法是通过描述和解释疾病进展曲线(Disease Progress Curve -DPC)来分析测量疾病数量随时间的变化。通过模型拟合对流行病进行比较分析，可以帮助确定哪些因素是描述流行病的模型参数的主要决定因素，如疾病变化率或最初和最终的疾病量。不同的数学模型已被用于分析和预测 DPC，包括那些来源于人口增长函数或理论生态学和流行病学以及基于计算机模拟的流行病学的模型。有研究表明 Logistic 回归模型是识别 DPC 描述参数差异的一种更敏感的方法(Bergua et al., 2008)，被广泛应用于各种研究和分析中，具有良好的拟合优度。

在中国 COVID-19 的感染呈 S 型曲线增长，符合流行病暴发的典型阶段，我们对 31 个省份的累计确诊数随时间的变化进行 logistics 模型拟合(从各个地区首例确诊当天开始，直到连续 5 天没有新增确诊为止)。模型拟合的公式为 $y = a/(1 + \exp(-k*(x-xc)))$，$a$ 为函数的极限值—即预测的 COVID-19 累计确诊数；k 为增长速率，k 越大表示疫情控制得越快；xc 表示达到 50%的预测确诊数所需天数。根据模型拟合获得总的疫情控制速度指标(kt)。由于 COVID-19 增长速率在峰值前后两个阶段是非对称分布的，我们对拟合的函数曲线进行微分，首先获得到达峰值所需的天数。在到达峰值的时间点，将曲线分成前后两个不同的阶段，再次运用函数 $y = a'/(1 + \exp(-k'*(x-xc')))$对两个阶段分别进行 logistics 模型拟合，获得疫情前期控制速度和疫情后期控制速度指标，如图 4 所示。山东省任城监狱 2 月 20 日突然报道新增确诊 203 人(在点前累计确诊 546 人，连续 5 天新增确诊在 1~2 人左右)，受到监狱系统汇报流程的影响，我们没有办法追溯每个病例的确诊时间，山东省包含该时间点后的数据会影响模型拟合的准确性，因此我们根据截止到 2.20 号的数据对山东省累计确诊数进行模型拟合获得疫情控制速度的指标。青海和西藏地区确诊人数较少，分别只有 18 例和 1 例，并且拟合点数分别只有 12 个和 1 个，模型拟合准确性低于 0.9，因此在进行模型拟合时将其剔除。

(2)偏相关分析

已有研究表明中国的疫情发展受到人口流动性的影响(Qiu et al., 2020)，于是我们在进行相关分析时控制人口流动性对 29 个省的独立型自我建构和互依型自我建构得分与疫情控制速度相关指标之间做偏相关。

(3)表征相似性分析(RSA)

我们对不同地区自我建构的相似性矩阵和疫情控制速度指标的相似性矩阵的相似性进行检验。首先对自我建构得分和疫情控制速度指标进行标准化处理，对 29 个省份的独立和互依型自我建构得分以及疫情控制速度指标分别构造一个 29×29 的差异性矩阵(RDM) (同研究 1，对不同地区进行相互比较，形成一个以 0 为对角线对称的差异性矩阵)。其次，我们用矩阵中距离最大的值减去差异性矩阵中的每一个值(形成一个对角线为最大值的相似性矩阵)，再将整个矩阵同时除以最大值，将其转换为对角线为 1 的一个 29×29 的相似性矩阵。最后，我们通过 Pearson 相关系数来量化自我建构得分和疫情控制速度的相似性矩阵之间的匹配度(同研究 1，在比较相似性矩阵时，只在上三角区域或相当于下三角区域的值上计算相关性)。

研究 3

方法

(1)模型的建立及仿真

①仿真系统的行为设置

a)初始状态

模型环境用坐标轴来表示，横轴与纵轴的相交处为零点(0, 0)，横轴的最小值(L_x)和最大值(U_x)构成了主体横向运动的范围，类似的，纵轴的最小值(L_y)和最大值(L_y)构成了主体纵向运动的范围。本研究中模型环境的范围大小设置为 540*540 ($L_x = -270, U_x = 270, L_y = -270, U_x = 270$)，表示主体在行为交互过程中的运动空间为 291600 个单位。设定的模型中总共有 10000 个主体(init-population)，其中 10 个主体被标注为红色(init-infected)，代表已经确诊的被感染病毒的主体，7 个主体被标注为黄色，代表被感染病毒但未确诊仍在潜伏期的主体(init-exposed)，剩余的 9983 个主体为蓝色，代表健康、未被感染的主体。红色主体、黄色主体以及蓝色色主体的初始横坐标、纵坐标则是随机的，表示已经感染的和未感染的主体们在环境中的分布是随机的，所有主体都赋予相同的大小和形状。individualism 是一个用于表示个体个人主义水平高低的参数，数值越大表示该模型模拟的地区个人主义程度越高，前期体现在个体运动距离的远近上，本研究设定模型的运行过程中主体的个人主义最小值不得小于 0，最大值不得大于 100。

$$\text{Individualism} \in [0,100]$$

此外，government norm 是一个用于表示政府干预水平强弱的参数，取值范围在 0 到 1 之间，数值越大表示该模型模拟的地区政府干预力度更强，能够影响到运动的个体的数量以及距离。

$$\text{government norm} \in [0,1]$$

b) 规则一：移动

本研究中主体总的运动模式分为两个部分，一个是模型环境中运动的主体数 p%，一个是主体运动的距离范围 r。每个主体每天的移动由两部分组成(方向和距离)，主体运动的方向是随机的且控制方向由随机数 right random 360 控制，即随机向右转一定角度；控制前进距离 r 的程度受到个人主义和政府规范的影响(见规则六和七)。在此基础上，主体每天的移动行为均遵循规则一的步骤(在一开始的时候我们默认整个环境背景中所有个体均是运动的，在政府进行干预后部分主体停止运动，具体规则见六和七)。

c) 规则二：感染(易感−潜伏)

本研究中各个主体的移动都是随机的，处于潜伏期的黄色主体未表现出 COVID-19 症状，未被感染的蓝色主体与被感染的红色主体、处于潜伏的黄色主体一起完成规则一的移动行为。蓝色主体每天都有可能被其它已经感染 COVID-19 的主体传染上，触发条件为两者近距离接触。以蓝色主体的位置为圆心，半径为 1 个单位的圆形范围内，如果存在已经被感染的主体(黄色或者红色)，那么该蓝色主体将进入是否被感染的判定中，即蓝色主体被感染上是一个概率事件。被感染的概率与传播率(transmission rate)有关，在判定过程中，给定一个 $\text{random} - \text{float } 1$ (表示从 0 到 1 的范围随机抽取一个数)的随机浮点数，如果该数小于传播率(transmission rate)，则该蓝色主体被感染。

$$random - float1 < transmission.rate \tag{4-6}$$

$$\text{random} - \text{float } 1 \in [0,1]$$

一旦主体被感染，则蓝色主体的颜色将变成黄色，同时赋予黄色主体潜伏时间(expose time)。在 Gharakhanlou and Hooshangi (2020)针对 COVID-19 传染的时间空间拟真中，他们将主体被感染后的潜伏期天数设置为一个服从正态分布的参数，本研究沿用他们的做法并且结合疫情的真实情况，对初始状况即为被感染状态的黄色主体赋予了潜伏期的设置，服从均值为 9 天标准差为 2 天的正态分布的参数，即:

$$exposetime \sim N(9,2) \tag{4-7}$$

d) 规则三：发病(潜伏−确诊)

规则三模拟的是 COVID-19 感染者发病被检测出来的过程，我们假设所有的潜伏者都会成为确诊症状患者，每一个处于潜伏状态的黄色主体都被赋予规则二中的潜伏时间(expose time)。潜伏时间(expose time)是随时间开始递减的，当第 N 天潜伏时间[expose time (N)]仍然大于 0 时，则继续随时间递减，重复之前的操作。

$$exposetime(N) = exposetime(N-1) \tag{4-8}$$

当第 N 天潜伏时间递减到[expose time (N)]小于等于 0 时，黄色主体将表现出症状来，并由黄色变成有症状的红色主体，即:

$$exposetime(N) \leqslant 0 \tag{4-9}$$

也就是潜伏个体表现出症状来，由 E 类变为 I 类。

e) 规则四：结果判定

处于潜伏期状态的黄色主体在潜伏期结束变为红色主体后将进行一个判定，用于区分其最终结果是康复还是病情加重死亡，因此规则四将 COVID-19 有症状感染者分成两种可能发展方向(一是朝恢复健康方向发展的状态，二是朝病情加重的死亡方向发展状态)，判定的依据如下:

对于每一个感染的红色主体，给定一个 random-float 1 (表示从 0 到 1 的范围随机抽取一个数)的随机浮点

数, 如果该浮点数小于等于我们的恢复率(recovery rate), 则将该主体判定为朝健康方向恢复的感染主体:

$$random-float\,1 < recovery\ rate \tag{4-10}$$

反之如果该浮点数小于等于我们的恢复率(recovery rate), 则将该主体判定为朝病情加重的死亡方向发展的感染主体:

$$raandom-float\,1 \geqslant recovery\ rate \tag{4-11}$$

Khalili 等人对在 2019 年 12 月 1 日至 2020 年 3 月 1 日期间发表的描述 COVID-19 流行病学特征的研究进行了系统性回顾以及元分析, 他们总结道: COVID-19 患者的平均死亡率(case fatality rate)为 0.02(95%置信区间: 0.02, 0.03), 患者达到康复状态平均所需时间为 18.55 天(95%置信区间: 13.69, 23.41), 而患者达到死亡结果的平均所需时间为 15.93 天(95%置信区间: 13.07, 18.79)。而我们的规则四考虑了现实世界的数据, 结合模型进行了简单处理用于 COVID-19 的拟真。针对感染的红色主体, 在判定结果(恢复或者死亡)后会赋予该主体相应的的恢复时间(recovery time)或死亡时间(dead time)。

恢复时间(recovery time)在主体中的分布服从均值为 36、标准差为 3 的正态分布:

$$recovery\ time \sim N(36,3) \tag{4-12}$$

死亡时间(dead time)在主体中的分布服从均值为 24、标准差为 3 的正态分布:

$$dead\ time \sim N(24,3) \tag{4-13}$$

f) 规则五: 康复与死亡

规则五针对的是确诊症状的红色主体的病情发展过程, 在规则四中首先会对红色感染主体的结果进行判定, 看其是朝恢复健康方向发展还是朝病情加重的死亡方向发展。

恢复健康的主体的恢复时间(recovery time)服从均值为 36、标准差为 3 的正态分布:

$$recovery\ time \sim N(36,3) \tag{4-14}$$

对于朝恢复健康方向发展的感染主体, 给定一个 $random-float\,1$(表示从 0 到 1 的范围随机抽取一个数)的随机浮点数, 若该浮点数小于等于 0.7(我们设置的 transmission rate), 并且该主体的恢复时间(recovery time)递减到小于等于 0, 则该感染主体恢复健康, 并获得免疫性, 之后进行规则一的移动与感染主体相遇将不再感染, 同时将主体颜色由红色变为灰色。

$$\begin{cases} random-float\,1 \leqslant 0.7 \\ recovery\ time(N) \leqslant 0 \end{cases} \tag{4-15}$$

若第 N 天恢复时间(recovery time)仍大于 0, 则继续随时间递减 1, 重复之前的操作, 直到恢复时间(recovery time)递减到小于等于 0 时为止, 个体正式恢复健康, 由 I 类变为 R 类。

$$recovery\ time(N) = recovery\ time(N-1)-1 \tag{4-16}$$

走向死亡的主体的死亡时间(dead time)服从均值为 24、标准差为 3 的正态分布:

$$dead\ time \sim N(24,3) \tag{4-17}$$

对于朝病情加重的死亡方向发展的感染主体, 同样赋予一个 $random-float\,1$(表示从 0 到 1 的范围随机抽取一个数)的随机浮点数, 若该浮点数小于等于 0.3, 并且该主体的死亡时间(dead time)递减到小于等于 0, 则该感染主体死亡, 从模型中移除。

$$\begin{cases} random\text{-}float\,1 \leqslant 0.3 \\ dead\ time \leqslant 0 \end{cases} \tag{4-18}$$

若第 N 天死亡时间(deadtime)仍大于 0, 则继续随时间递减 1, 重复之前的操作, 直到死亡时间(deadtime)递减到小于等于 0 时为止, 个体死亡退出模型。

$$dead\ time(N) = dead\ time(N-1)-1 \tag{4-19}$$

g)规则六: 个人主义文化

规则六是模拟个人主义文化在疫情中对模型主体运动情况影响的过程, 我们认为高个人主义的社会下人们出行更加自由, 限制性更弱, 加大携带病原体的个体的流动性。在本研究中, 模型中的个人主义的强度体现在主体运动距离范围 r 以及政府干预时间快慢 $t1$ 上。

在刚开始的时候整个屏幕中的个体都在进行运动。个体运动的范围 r 服从正态分布, 其均值和标准差均为个人主义 individualism 的函数(个人主义 individualism 越大, 个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大)。个体运动的距离服从均值为 $(5+0.2\times individualism)$、标准差为 $(0.1\times individualism)$ 的正态分布:

$$r(forward) \sim N(5+0.2\times individualism,\ 0.1\times individualism) \tag{4-20}$$

个人主义 individualism 同时会影响政府规范 gnorm 实施的时间 $t1$, 个人主义 individualism 越高, 政府开始控制时间 $t1$ 越晚(注重个人自由的文化背景下需要时间考虑措施可实施性)—政府规范 gnorm 开始实施规范的时间 $t1$ 是个人主义 i 的函数。政府规范实施时间随个人主义变化如下:

$$t1 = 2.5\times individualism + 175 \tag{4-21}$$

h)规则七: 政府调控

规则七是模拟政府在疫情出现后对模型主体运动情况影响的过程, 我们认为高强度政府干预的社会具备严格的政府规范措施, 对于人员出行有着更强的限制性。在本研究中, 模型中的政府调控的程度体现在主体运动距离范围 r 以及运动点数百分比 $p\%$上, 并且政府规范会影响个人主义(individualism)对于主体的效应。在一定的

时间节点 $t1 = 2.5 \times \text{individualism} + 175$ 政府开始进行干预，人们运动距离 r 的范围开始受到限制，并且运动的总人数 $p\%$ 也受到了限制(然而更高的个人主义 individualism 会打破人们对于政府规则的遵守程度，引起政府规范 gnorm 的力量减弱)。

此时运动半径范围 r 会受到个人主义 individualism 和政府干预 gnorm 的影响，运动范围 r 仍然服从正态分布(个人主义 individualism 越大个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大；反之，政府规范 gnorm 越强，个体运动的范围半径 r 越小，并且运动范围的变异性越小)。个体运动距离 r 服从均值为 $(5+0.2\times individualism)\times(1-gnorm)$、标准差为 $((0.1\times individualism)\times(1-gnorm))$ 的正态分布：

$$r(forward)\sim N[(2.5\times individualism)\times(1-gnorm),(0.1\times individualism)\times(1-gnorm)] \quad (4\text{-}22)$$

而运动的总人数 $p\%$是个人主义 individualism 和政府规范 gnorm 的函数($p\%$会随着个人主义 individualism 的增加而增加，随着政府规范 gnorm 的增加而减少)，并且在运动的过程中，随着政府开始干预时间的推移个人主义的作用会减弱并且最后逐渐消失。

$$p\% = b\times individualism\times 0.01\times\frac{(1-gnorm)}{(1-gnorm)}+(1-b)\times 30\times 0.01\times\frac{(1-gnorm)}{(1-gnorm)} \quad (4\text{-}23)$$

随着政府干预后个人主义作用的减弱体现在系数 b 上，系数 b 随着时间 t 的推移不断减小直到为 0 后不变($b\geq 0$)。

$$b=\begin{cases}\frac{100-(ticks-t1)}{100}, t1\leqslant ticks\leqslant t1+100\\ 0, t\geqslant t1+100\end{cases} \quad (4\text{-}24)$$

此时将模型中剩余 $initial\ population\times(1-p\%)$ 个主体设置为居家隔离状态，不再遵从规则一的移动特性。其中 initial population 是这个模拟社会的初始主体个数，也就是 10000。

②仿真系统的过程模拟

在演化博弈模型中我们可以直观的看到在我们所设置的环境下 COVID-19 疫情发展过程中各模型数量的变化，其中 S (代表易感者数量)、E (代表潜伏者数量)、I (代表确诊感染者数量)、R (代表康复者数量)的颜色分别被设置为设为蓝色、黄色、红色、灰色。我们可以通过调整各个参数的取值范围和具体取值来清晰、直观地观察到整个系统在仿真过程中的实时情况和变化趋势。通过这个过程我们改变个人主义与政府规范有关的参数来模拟不同条件下的疫情发展与控制情况，下图 8 为低个人主义(取值 30)、中等程度政府规范(取值 0.3)条件下的某次疫情模拟的动态演化过程。

其他补充模型

当政府干预不再影响个人主义效应的模型(主体运动规则 1~5 参照已有模型，仅仅对文化在模型中的表征规则 6~7 进行了修改)

规则六：个人主义文化

规则六是模拟个人主义文化在疫情中对模型主体运动情况影响的过程，我们认为高个人主义的社会下人们出行更加自由，限制性更弱，加大携带病原体的个体的流动性。在本研究中，模型中的个人主义的强度体现在主体运动距离范围 r 上。

在刚开始的时候整个屏幕中的个体都在进行运动。个体运动的范围 r 服从正态分布，其均值和标准差均为个人主义 individualism 的函数(个人主义 individualism 越大，个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大)。个体运动的距离服从均值为$(5 + 0.2 \times \text{individualism})$、标准差为$(0.1 \times \text{individualism})$的正态分布：

$$r(forward)\sim N(5+0.2\times individualism, 0.1\times individualism)$$

个人主义不会影响政府规范 gnorm 实施的时间，在该模型中政府开始控制时间恒定不变：

$$t1 = 400$$

规则七：政府调控

规则七是模拟政府在疫情出现后对模型主体运动情况影响的过程，我们认为高强度政府干预的社会具备严格的政府规范措施，对于人员出行有着更强的限制性。在本研究中，模型中的政府调控的程度体现在主体运动距离范围 r 以及运动点数百分比 $p\%$上，并且政府规范会影响个人主义(individualism)对于主体的效应。在固定的时间节点 $t1 = 400$ 政府开始进行干预，人们运动距离 r 的范围开始受到限制，并且运动的总人数 $p\%$也受到了限制(然而更高的个人主义 individualism 会打破人们对于政府规则的遵守程度，引起政府规范 gnorm 的力量减弱)。

此时运动半径范围 r 会受到个人主义 individualism 和政府干预 gnorm 的影响，运动范围 r 仍然服从正态分布(个人主义 individualism 越大个体运动范围半径 r 越广并且运动范围变异性越大；反之，政府规范 gnorm 越强，个体运动的范围半径 r 越小，并且运动范围的变异性越小)。个体运动距离 r 服从均值为$(5 + 0.2 \times individualism)\times(1 - gnorm)$、标准差为$((0.1 \times individualism)\times(1 - gnorm))$的正态分布：

而运动的总人数 $p\%$是个人主义 individualism 和政府规范 gnorm 的函数($p\%$会随着个人主义 individualism 的增加而增加，随着政府规范 gnorm 的增加而减少)。

$p\% = 0.01i*[(1-gn)/(1+gn)]$

我们基于所建立的模型在个人主义 2 种水平(高个人主义为 70；低个人主义为 30)、政府规范 2 种水平(高个政府规范为 0.8；低政府规范为 0.2)一共 4 个条件下各自模拟 100 次数据, 分别获得每次模拟下的 COVID-19 累计感染数进行 logistics 模型拟合(拟合过程以及公式同研究 2)疫情总的疫情控制速度以及前期和后期控制速度, 不同条件下进行 95%置信区间估计的结果如下:

(1)疫情总控制速度

当政府规范为 0.2 时, 高个人主义下的总控制速度显著小于低个人主义(95% CI = [0.0157, 0.0161] vs. [0.0179, 0.0182]); 然而在政府规范取值是 0.8 时, 高个人主义下的疫情的总控制速度均显著大于低个人主义(95% CI = [0.0190, 0.0194] vs. [0.0185, 0.0189])。

(2)疫情前期控制速度

高低个人主义下前期控制速度没有显著差异(政府规范 = 0.2: 95% CI = [0.0143, 0.0149] vs. [0.0145, 0.0151]; 政府规范 = 0.8: 95% CI = [0.0150, 0.0155] vs. [0.0146, 0.0153])。

(3)疫情后期控制速度

当政府规范为 0.2 时, 高个人主义下的后期控制速度显著小于低个人主义(95% CI = [0.0163, 0.0170] vs. [0.0234, 0.0239]); 然而在政府规范是 0.8 时, 高低个人主义下后期控制速度没有显著差异(95% CI = [0.0273, 0.0282] vs. [0.0275, 0.0288])。

由此我们发现模型拟合结果与现实不一致, 故该模

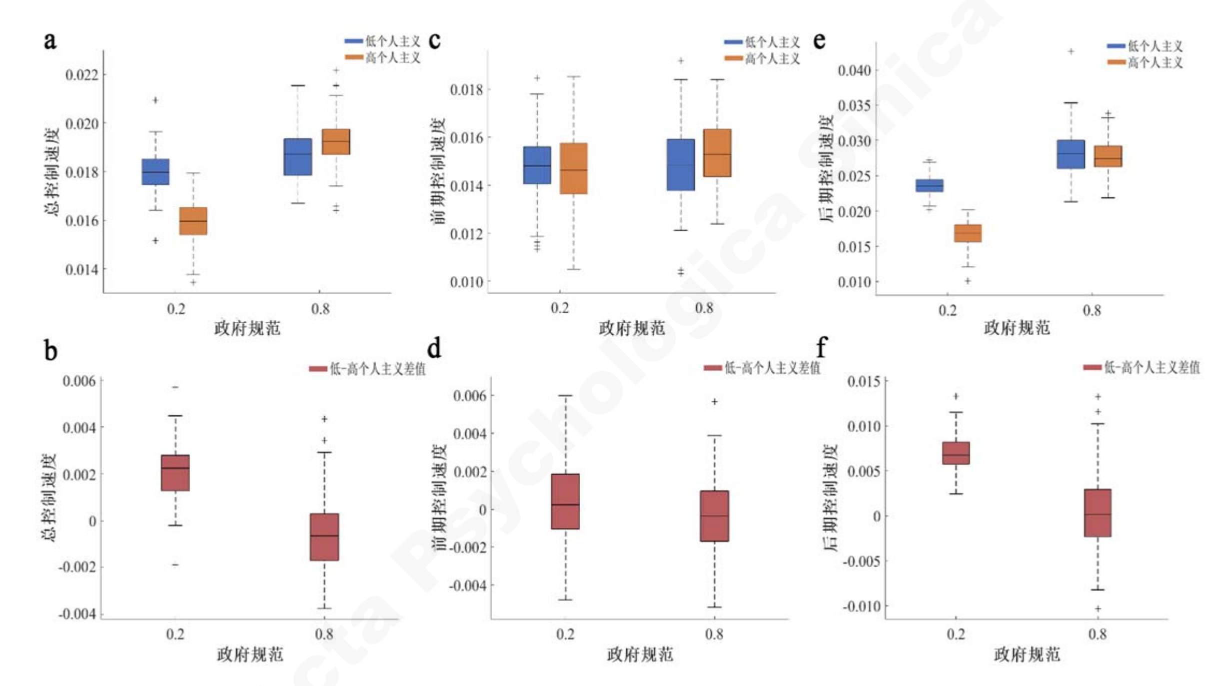


图 S1　不同政府规范水平下高低个人主义在总体、前期、后期控制速度的差异

表 S1　各阶段控制速度在高、低政府规范下的均值、标准差、95%置信区间

个人主义	政府规范	变量	均值	标准差	95%置信区间下限	95%置信区间上限
低(30)	0.2	总速度	0.0180	0.0008	0.0179	0.0182
		前期速度	0.0148	0.0015	0.0145	0.0151
		后期速度	0.0236	0.0013	0.0234	0.0239
	0.8	总速度	0.0187	0.0011	0.0185	0.0189
		前期速度	0.0149	0.0017	0.0146	0.0153
		后期速度	0.0282	0.0033	0.0275	0.0288
高(70)	0.2	总速度	0.0159	0.0010	0.0157	0.0161
		前期速度	0.0146	0.0015	0.0143	0.0149
		后期速度	0.0167	0.0018	0.0163	0.0170
	0.8	总速度	0.0192	0.0010	0.0190	0.0194
		前期速度	0.0153	0.0013	0.0150	0.0155
		后期速度	0.0277	0.0022	0.0273	0.0282

型无法真实反映真实情景。

结果

logistics 模型拟合

我们在高低不同个人主义(低个人主义: 30, 高个人主义: 70)在不同政府规范条件下(低政府规范: 0.1, 中政府规范: 0.3, 高政府规范: 0.5)各 100 次的累计确诊数随时间变化曲线进行 logistics 模型拟合, 所有条件下模型拟合的调整后的方差解释率均大于 0.98(见补充材料), 拟合状态良好, 在高低不同个人主义在不同政府规范条件下各 100 次的累计确诊数、死亡数、logistics 拟合获得的总控制速度、前期/后期控制速度的描述性统计分析结果见补充材料。

讨论

研究 3 基于演化博弈模型的结果在计算机环境下模拟了真实疫情的背景, 发现个人主义不利于疫情的结果, 主要表现在高个人主义对应着更高的确诊数和死亡数, 除此之外个人主义和疫情的前期控制速度之间呈现一个反向的关系, 说明个人主义在疫情前期的控制过程中起到的作用。研究 3 在之前相关研究的基础上, 通过演化博弈模型对疫情真实背景进行了模拟, 为个人主义文化对于疫情发展与控制结果的影响提供了结果推演论证, 补充了之前的研究。我们发现在较低的政府规范水平下, 个人主义文化对于疫情总的控制速度影响不显著; 随着政府规范水平的提高, 个人主义文化对疫情后期的控制速度的影响减弱并且在政府规范达到中等水平时效应不显著, 但是这种作用不会一直持续下去, 会随着政府规范水平的提高再次显现出来。这能够在某种程度上解释我们实验二的结果, 强调了政府在不同阶段控制速度这个过程中的调节机制。

Gelfand 等人通过一个正式的进化博弈论模型表明社会规范强度或文化紧密程度的社会差异与 COVID-19 病例和死亡率有关, 通过模型探究了合作规范在集体威胁的过程中的作用, 强调了采取干预措施来加强与行为相关的规范的作用, 这在某种程度上支持了我们的研究结果。应毅等人的传染病动力学模型在已知病毒传播规律的基础上, 引入政府干预项参数, 建立了可用于 COVID-19 疫情评估的动力学模型, 分析了感染人数、死亡人数等指标性数值的发展趋势, 评估了政府干预手段对病毒的蔓延趋势变化产生的影响, 证明了政府的干预手段的积极作用。但是目前尚未有研究通过动力学模型探究疫情的发展曲线并且对于疫情控制的分阶段进行研究, 一些已有的模型研究从考虑追踪和隔离机制、城市之间的人口流动和干预措施的角度出发探究了病毒传播能力的影响因素等(Chen et al., 2020), 尽管从分析结果来看一些模型对预测结果与实际情况的差距还是较大的, 然而不可忽视的是对于了解新冠病毒的影响机制起到了至关重要的作用。总之研究 3 揭示了政府管控的力量能够作为一种外部力量更好的限制病例和死亡, 以及干预个人主义文化对于疫情控制过程的影响, 这对于不同文化背景群体应对 COVID-19 威胁的意义是至关重要的。

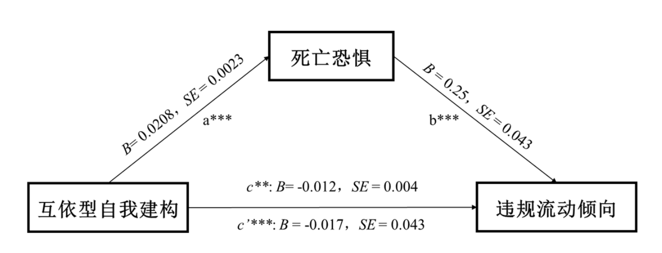
研究 4

互依型自我建构对违规流动的预测

互依型自我建构对违规流动倾向可能有两个方向的预测效应: 第一, 互依型自我建构高的个体重视集体, 更愿意为集体和他人牺牲自己的利益(van-Dellen & Baker, 2011)。Tu 等(2021)发现, 互依型自我建构可以正向预测疫情时期人们自愿居家, 减少外出的态度。在这样的理论推导下, 我们预测个体的互依型倾向越高, 当违规流动会给他人带来风险的时候, 其违规流动的倾向就越低; 另外一方面, 互依型自我建构倾向于将他人纳入自我概念中, 对他人的感知更为亲近(Agnew et al., 2004; Ashmore et al., 2004)。前人研究发现, 互依型自我建构特质, 或互依型自我建构启动操纵都会增加个体在观看(亲近)他人疼痛时的神经活动(Wang et al., 2015)。在疫情背景下当个体生命受到威胁时, 互依型自我建构高的个体对他人生命的受害感知更为强烈, 死亡凸显性增加, 反而促进违规流动行为。从这个角度, 我们预测互依型自我建构会增加个体的死亡恐惧, 从而增加违规流动倾向。

结果

中介分析结果显示, 在加入了死亡恐惧后, 互依型自我建构对死亡恐惧的路径显著 $B = 0.0208$, $SE = 0.0023$, $t = 8.97$, $p < 0.0001$, 95% CI = [0.0163, 0.0254], 死亡恐惧对违规流动倾向的路径显著 $B = 0.251$, $SE = 0.043$, $t = 5.83$, $p < 0.001$, 95% CI = [0.1664, 0.3351]。互依型自我建构影响违规流动倾向的直接路径显著 $B = –0.017$, $SE = 0.0043$, $t = –3.97$, $p = 0.0001$, 95% CI = [–0.0254, –0.0086]。Bootstrap 分析后得到的间接效应的 95%置信区间为 95% CI = [0.0032, 0.0076], 死亡恐惧在互依自我建构和违规流动倾向关系间的中介效应显著。



互依型自我建构影响违规流动倾向的中介路线图

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$

讨论

结果发现，死亡恐惧部分中介互依型自我建构与违规流动之间的关系，并且是一个遮掩效应(温忠麟，叶宝娟，2014)。这可能是因为互依型自我建构对疫情下违规流动的作用更为复杂，存在两个或更多的作用相反的机制(例如前面提到的重视集体利益而减少违规流动)，这些效应相互抵消，因而没有观察到互依型自我建构对违规流动的直接效应。我们的研究只分离出了其中一个正向的效应，即互依型自我建构会增加个体在疫情背景下的死亡恐惧，从而促进违规流动倾向的上升。未来的研究可以进一步探讨其中的影响因素，分离这些效应。

总讨论

logistics 模型拟合获取疫情控制速度

关于传染病的研究多对疾病进展曲线(DPC)进行分析来确定影响流行病发展的因素，用于分析和预测 DPCs 的数学模型中应用最广泛的是 logistics 模型、Gompertz 模型和对数模型。现有研究多采用对数变换的方法，认为传染病早期感染数呈指数分布，在一段时间后病例呈现快速增长趋势，例如 Gelfand 等人的研究中对确诊数进行对数转换以获得疫情增长/扩散速率，然而这种处理方式只考虑了疫情早期阶段，丢失了较多关于传染病的其他信息。因为我们知道在疫情传播过程中，感染数随着时间增长的速率呈现先增后减的趋势，即常见的“S”型曲线。已有研究将 logistics 模型用于临床流行病学的分析，并且 Logistic 回归似乎是识别 DPC 参数差异的更灵敏的方法(Bergua et al., 2008)，具有良好的拟合优度(钟礼杰 等, 1993)。黄德生等人使用 Logistic 模型对 SARS 数据进行拟合发现具有良好的拟合优度，因此基于已有的经验我们将该模型扩展到我们的研究，证实 Logistic 模型在验证传染病影响因素方面的有效性。

已有的关于疫情的研究多关注疫情的发展而非控制过程，我们通过模型拟合得到疫情的拐点定量的将疫情控制分为两个阶段，将拐点前视作是自然发展的规律—文化的影响，拐点后人为机制开始作用—政府开始采取有力的防控措施，因此整个疫情受到自然和人为因素相互制约，呈现出分时段、动态的复合变化(Wang & Liu., 2005)，更加具有现实意义。我们在关注疫情基础指标上，克服了以往研究只关注疫情早期阶段的局限性，采用 logistics 模型将疫情分为前后两个控制阶段，不仅仅局限于前期文化差异的影响，还探究了人为社会因素对于疫情控制的影响，从新的角度扩展了以往研究的局限。

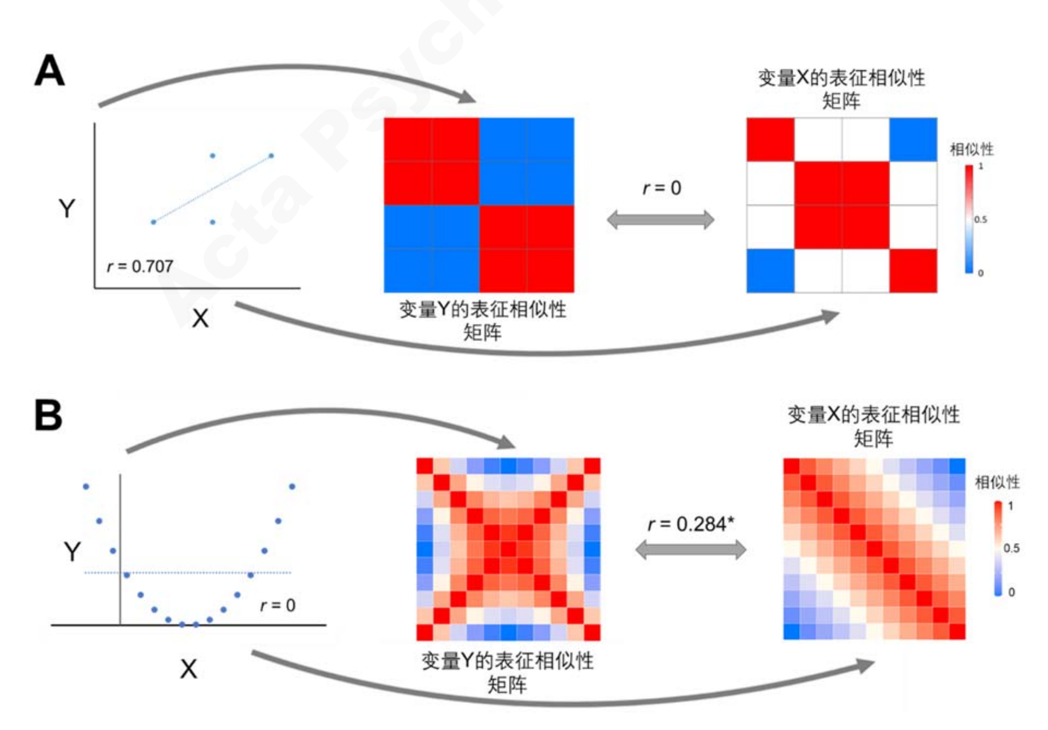


图 S2 线性回归与表征相似性分析结果不一致的情况举例

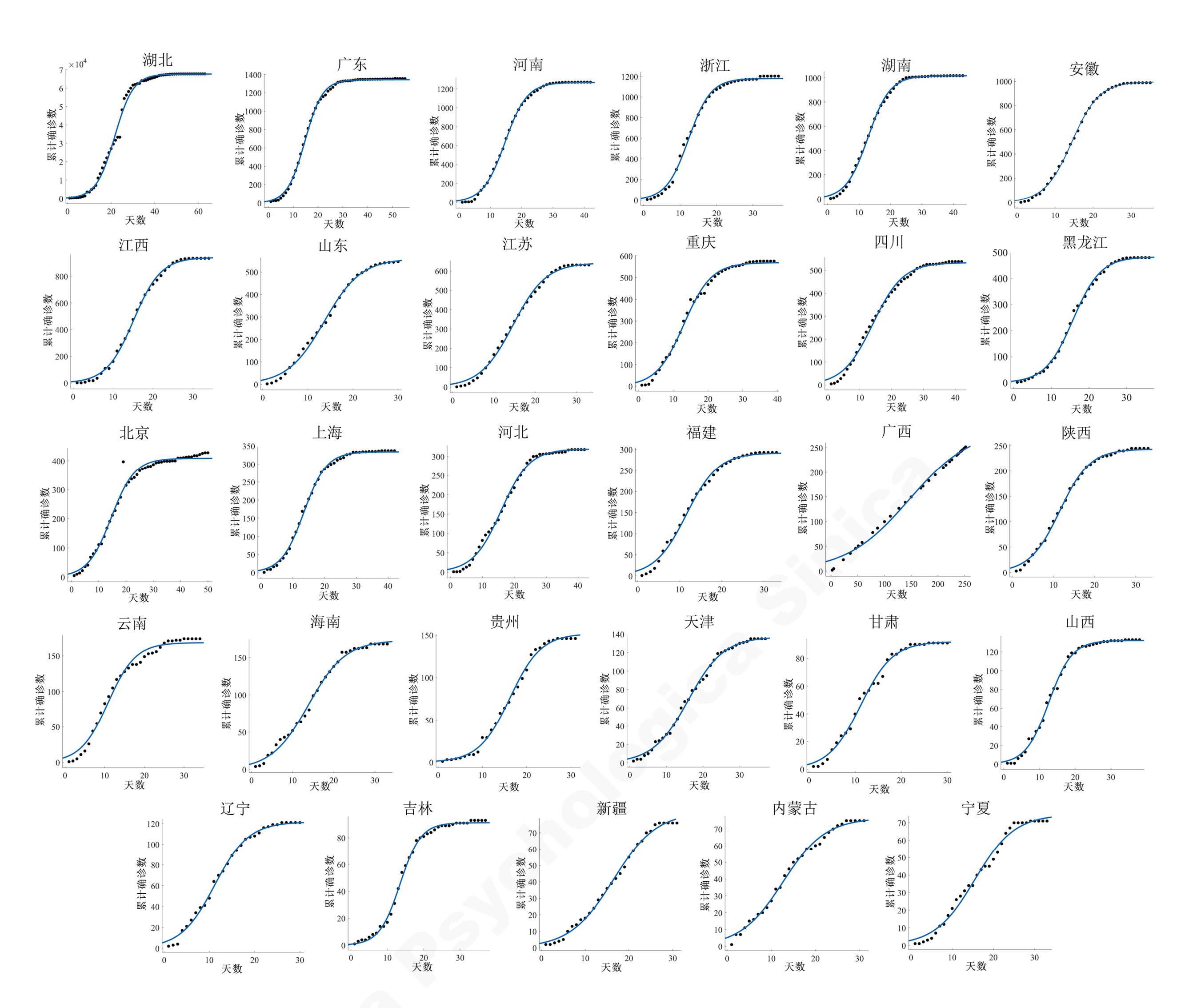


图 S3 各地区累计确诊数随时间变化曲线

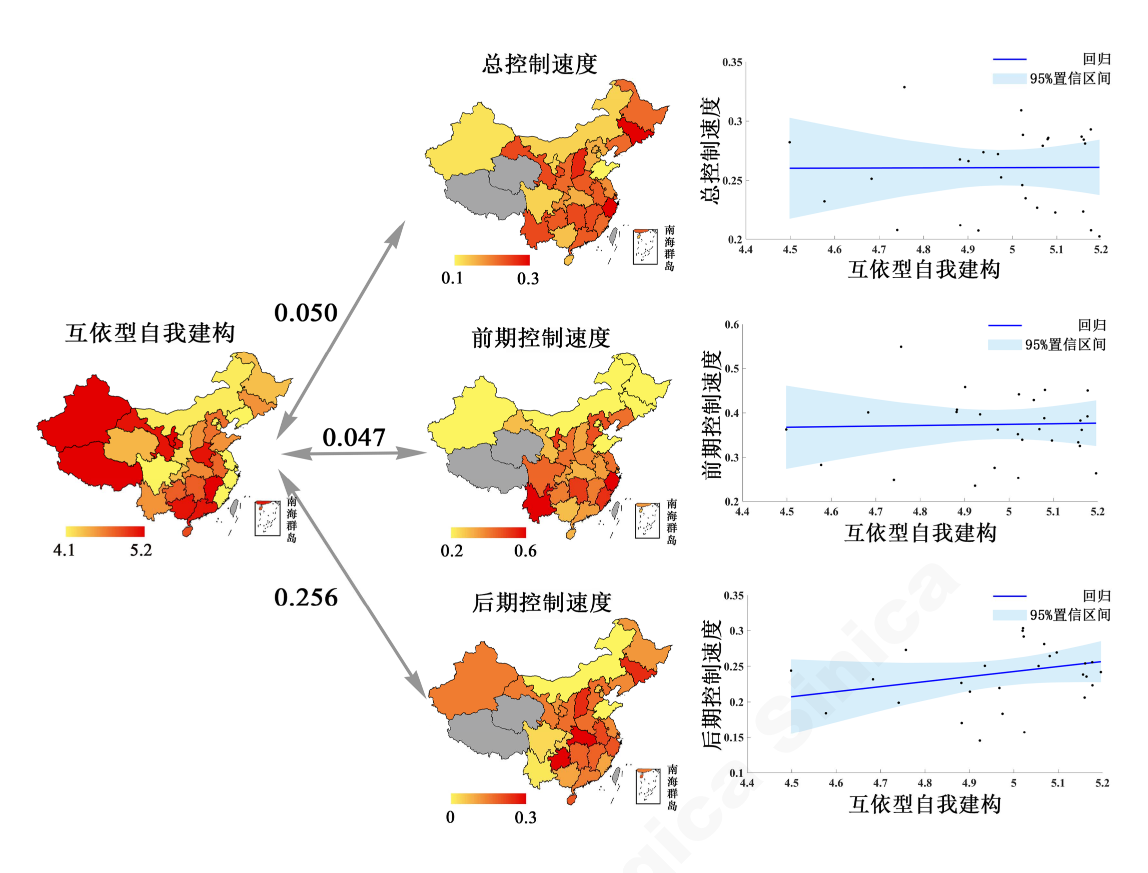


图 S4　互依型自我建构与疫情控制速度之间的相关(n = 29)

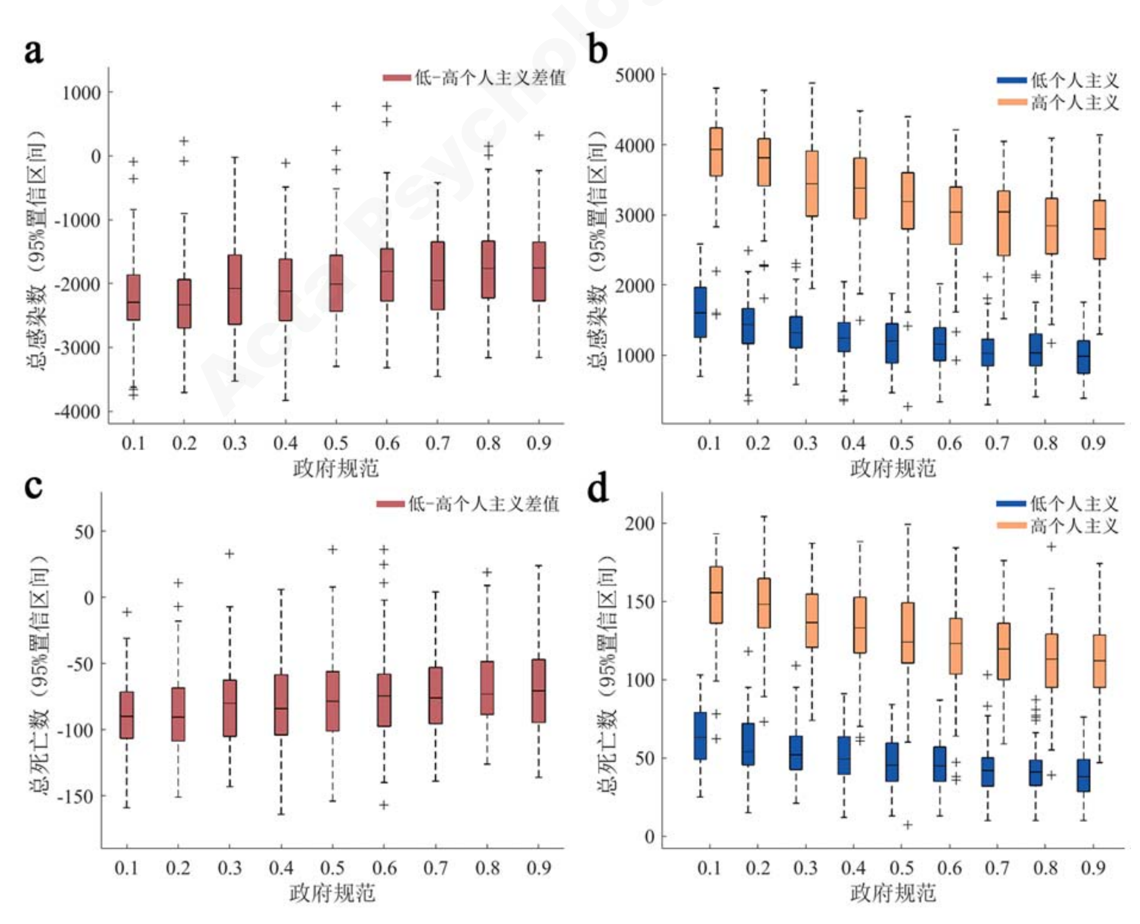


图 S5　不同政府规范水平下高低个人主义在确诊数、死亡数的差异图

图 S6　不同政府规范水平下高、低个人主义在总、前期、后期控制速度的差异图

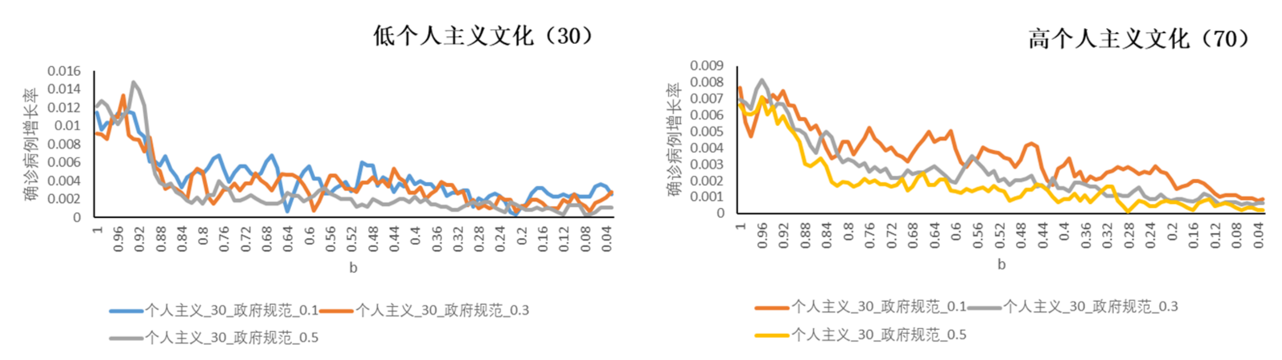


图 S7a:　低个人主义文化条件下系数 b 衰减对疫情增长速率的影响(一次模拟)

图 S7b:　高个人主义文化条件下随系数 b 衰减对疫情增长速率的影响(一次模拟)

表 S2　研究一 72 个国家个人主义文化及其他控制变量的相关矩阵

(委内瑞纳的人均国民生产总值数据缺失)

变量	1	2	3	4	5	6	7
个人主义		–0.35**	–0.1	0.58***	0.56***	0.58***	–0.66***
政府规范			–0.07	–0.41***	–0.39***	–0.36**	0.34**
人口密度				–0.05	0.04	–0.1	0.03
HAQ					0.73***	0.73***	–0.68***
老年人比率						0.42***	–0.54***
人均 GDP							–0.60***
病原体历史流行率							

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$

表 S3　研究 1 个人主义与 COVID-19 死亡指标的偏相关/相似性

样本量	统计分析	统计值	总死亡数	百万死亡数	死亡率	调整病死率
	偏相关	*r*	0.344*	0.455***	0.421***	0.561***
N = 73		*p*	0.003	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	相似性	*r*	0.217***	0.258 ***	0.222***	0.298***
		p	2.06E-29	2.53E-41	9.26E-31	3.07E-49
	偏相关	*r*	0.261*	0.437***	0.403***	–
N = 72		*p*	0.028	< 0.001	< 0.001	–
(剔极端值)	相似性	*r*	0.106***	0.261 ***	0.227***	–
		p	6.93E-08	3.75E-41	3.45E-31	–

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$

表 S4　研究二 29 个省累计确诊数随时间变化的模型拟合

省份	拟合点数	控制总速度	前期控制速度	后期控制速度	调整 R 方
湖北	63	0.235	0.339	0.335	0.995
广东	55	0.281	0.362	0.235	0.999
河南	42	0.284	0.383	0.254	0.999
浙江	37	0.329	0.549	0.273	0.996
湖南	43	0.286	0.451	0.264	0.998
安徽	35	0.279	0.363	0.281	0.999
江西	34	0.293	0.392	0.256	0.998
山东	31	0.246	0.442	0.292	0.996
江苏	33	0.251	0.401	0.232	0.997
重庆	39	0.252	0.362	0.183	0.994
四川	42	0.212	0.407	0.171	0.994
黑龙江	36	0.272	0.276	0.219	0.998
北京	50	0.232	0.283	0.184	0.986
上海	42	0.282	0.362	0.244	0.998
河北	42	0.227	0.429	0.250	0.996
福建	33	0.266	0.458	0.214	0.994
广西	39	0.224	0.325	0.206	0.997
陕西	33	0.274	0.396	0.250	0.998
云南	34	0.288	0.595	0.157	0.985
海南	33	0.223	0.337	0.269	0.995
贵州	31	0.285	0.387	0.343	0.996
天津	37	0.208	0.248	0.198	0.997
甘肃	30	0.287	0.333	0.238	0.992
山西	38	0.309	0.351	0.299	0.996
辽宁	30	0.268	0.401	0.226	0.995
吉林	37	0.350	0.253	0.303	0.997
新疆	31	0.202	0.263	0.241	0.996
内蒙古	31	0.207	0.235	0.145	0.993
宁夏	33	0.207	0.450	0.223	0.988

表 S5 研究二 29 个省份自我建构得分(独立\互依)及其他控制变量的相关矩阵

变量	1	2	3	4	5	6
自我建构−独立		0.62***	−0.45*	0	−0.26	−0.60***
自我建构−互依			−0.70***	0.26	−0.61***	−0.81***
人口密度				−0.24	0.37	0.73***
医疗卫生机构数量(2019)					−0.26	−0.27
每千人口卫生技术人员(2019)						0.68***
人均地区生产总值(2019)						

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$

表 S6 研究 2 自我建构与疫情控制速度之间的偏相关/相似性(n = 29)

变量	统计分析	统计值	总控制速度	前期控制速度	后期控制速度
独立型自我	偏相关	r	−0.106	−0.381*	0.126
		p	0.591	0.046	0.524
	相似性	r	0.299***	0.179***	−0.087
		p	7.98E-10	0.0003	0.0809
互依型自我	偏相关	r	0.050	0.047	0.256
		p	0.802	0.812	0.188
	相似性	r	−0.035	−0.032	−0.096
		p	0.479	0.525	0.053

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$

表 S7 研究 3 模型累计确诊数随时间变化的拟合优度

个人主义	政府规范	变量	极小值	极大值	均值	标准差	95%置信区间上限	95%置信区间下限
低(30)	0.1	总速度	0.990	0.9997	0.998	0.0012	0.996	1.001
		前期速度	0.995	0.9998	0.999	0.0008	0.997	1.000
		后期速度	0.982	0.9997	0.996	0.0034	0.989	1.002
	0.2	总速度	0.997	0.9995	0.999	0.0005	0.998	1.000
		前期速度	0.992	0.9997	0.998	0.0012	0.996	1.001
		后期速度	0.983	0.9987	0.992	0.0034	0.986	0.999
	0.3	总速度	0.996	0.9995	0.999	0.0005	0.997	1.000
		前期速度	0.994	0.9998	0.998	0.0010	0.996	1.000
		后期速度	0.981	0.9982	0.992	0.0036	0.985	0.999
	0.4	总速度	0.996	0.9996	0.999	0.0006	0.998	1.000
		前期速度	0.991	0.9997	0.998	0.0013	0.996	1.001
		后期速度	0.980	0.9982	0.992	0.0036	0.985	0.999
	0.5	总速度	0.995	0.9994	0.998	0.0007	0.997	1.000
		前期速度	0.993	0.9996	0.998	0.0011	0.996	1.001
		后期速度	0.980	0.9976	0.992	0.0036	0.985	0.999
	0.6	总速度	0.994	0.9991	0.997	0.0010	0.995	0.999
		前期速度	0.987	0.9998	0.998	0.0016	0.995	1.001
		后期速度	0.982	0.9975	0.993	0.0028	0.988	0.999
	0.7	总速度	0.988	0.9960	0.994	0.0017	0.990	0.997
		前期速度	0.992	0.9996	0.998	0.0013	0.996	1.001
		后期速度	0.974	0.9950	0.988	0.0031	0.982	0.995
	0.8	总速度	0.987	0.9955	0.992	0.0017	0.989	0.996
		前期速度	0.990	0.9996	0.998	0.0014	0.995	1.001
		后期速度	0.975	0.9903	0.983	0.0030	0.977	0.989
	0.9	总速度	0.980	0.9944	0.991	0.0024	0.986	0.995
		前期速度	0.993	0.9997	0.998	0.0014	0.995	1.001
		后期速度	0.966	0.9843	0.976	0.0038	0.969	0.984
	0.1	总速度	0.999	0.9999	0.999	0.0002	0.999	1.000
		前期速度	0.997	0.9999	1.000	0.0004	0.999	1.000

		后期速度	0.997	0.9999	0.999	0.0005	0.999	1.000

续表

个人主义	政府规范	变量	极小值	极大值	均值	标准差	95%置信区间上限	95%置信区间下限
		总速度	0.998	0.9997	0.999	0.0003	0.998	1.000
	0.2	前期速度	0.998	0.9999	0.999	0.0004	0.999	1.000
		后期速度	0.998	0.9999	0.999	0.0004	0.999	1.000
		总速度	0.998	0.9997	0.999	0.0004	0.998	0.999
	0.3	前期速度	0.996	0.9999	0.999	0.0005	0.999	1.000
		后期速度	0.995	0.9998	0.999	0.0008	0.997	1.000
		总速度	0.998	0.9995	0.999	0.0004	0.998	1.000
	0.4	前期速度	0.996	0.9999	0.999	0.0005	0.998	1.000
		后期速度	0.997	0.9998	0.999	0.0006	0.998	1.000
		总速度	0.997	0.9994	0.998	0.0004	0.998	0.999
高(70)	0.5	前期速度	0.997	0.9999	0.999	0.0005	0.998	1.000
		后期速度	0.997	0.9997	0.999	0.0007	0.998	1.000
		总速度	0.995	0.9989	0.998	0.0005	0.997	0.999
	0.6	前期速度	0.994	0.9999	0.999	0.0006	0.998	1.001
		后期速度	0.995	0.9995	0.998	0.0009	0.996	1.000
		总速度	0.993	0.9977	0.996	0.0010	0.994	0.998
	0.7	前期速度	0.997	0.9999	0.999	0.0005	0.998	1.000
		后期速度	0.986	0.9955	0.992	0.0016	0.989	0.995
		总速度	0.990	0.9973	0.995	0.0011	0.993	0.997
	0.8	前期速度	0.996	0.9998	0.999	0.0006	0.998	1.000
		后期速度	0.984	0.9938	0.988	0.0019	0.984	0.991
		总速度	0.990	0.9964	0.994	0.0014	0.991	0.997
	0.9	前期速度	0.998	0.9998	0.999	0.0004	0.998	1.000
		后期速度	0.978	0.9877	0.982	0.0019	0.978	0.986

表 S8　研究 3 中所有政府规范条件下变量描述性统计分析结果

个人主义	政府规范	变量	极小值	极大值	均值	标准差	95%置信区间下限	95%置信区间上限
		确诊数	695	2583	1614	447	1526.388	1701.612
		死亡数	25	103	64	19	60.276	67.724
	0.1	总速度	0.012	0.022	0.018	0.002	0.018	0.018
		前期速度	0.012	0.022	0.017	0.002	0.017	0.017
		后期速度	0.006	0.021	0.014	0.003	0.013	0.015
		确诊数	348	2486	1414	406	1334.424	1493.576
		死亡数	15	118	57	19	53.276	60.724
	0.2	总速度	0.012	0.024	0.020	0.002	0.020	0.020
		前期速度	0.009	0.021	0.017	0.002	0.017	0.017
		后期速度	0.009	0.027	0.019	0.003	0.018	0.020
		确诊数	582	2307	1346	369	1273.676	1418.324
		死亡数	21	109	54	17	50.668	57.332
	0.3	总速度	0.018	0.026	0.022	0.002	0.022	0.022
		前期速度	0.013	0.024	0.018	0.002	0.018	0.018
		后期速度	0.014	0.034	0.024	0.003	0.023	0.025
		确诊数	350	2049	1253	346	1185.184	1320.816
		死亡数	12	91	51	16	47.864	54.136
	0.4	总速度	0.018	0.028	0.023	0.002	0.023	0.023
		前期速度	0.010	0.022	0.018	0.002	0.018	0.018
		后期速度	0.022	0.036	0.030	0.003	0.029	0.031

续表

个人主义	政府规范	变量	极小值	极大值	均值	标准差	95%置信区间下限	95%置信区间上限
低(30)	0.5	确诊数	464	1881	1188	345	1120.380	1255.620
		死亡数	13	84	48	16	44.864	51.136
		总速度	0.019	0.028	0.024	0.002	0.024	0.024
		前期速度	0.014	0.022	0.018	0.002	0.018	0.018
		后期速度	0.028	0.043	0.034	0.003	0.033	0.035
	0.6	确诊数	337	2015	1154	342	1086.968	1221.032
		死亡数	13	87	46	15	43.060	48.940
		总速度	0.019	0.030	0.025	0.002	0.025	0.025
		前期速度	0.012	0.023	0.019	0.002	0.019	0.019
		后期速度	0.029	0.043	0.037	0.003	0.036	0.038
	0.7	确诊数	292	2117	1049	323	985.692	1112.308
		死亡数	10	103	43	16	39.864	46.136
		总速度	0.017	0.030	0.025	0.002	0.025	0.025
		前期速度	0.013	0.024	0.019	0.002	0.019	0.019
		后期速度	0.029	0.047	0.040	0.003	0.039	0.041
	0.8	确诊数	408	2144	1076	320	1013.280	1138.720
		死亡数	10	87	42	15	39.060	44.940
		总速度	0.021	0.031	0.026	0.002	0.026	0.026
		前期速度	0.013	0.023	0.019	0.002	0.019	0.019
		后期速度	0.033	0.049	0.042	0.003	0.041	0.043
	0.9	确诊数	385	1756	988	329	923.516	1052.484
		死亡数	10	76	39	15	36.060	41.940
		总速度	0.018	0.031	0.025	0.002	0.025	0.025
		前期速度	0.013	0.023	0.019	0.002	0.019	0.019
		后期速度	0.033	0.050	0.043	0.003	0.042	0.044
	0.1	确诊数	1573	4806	3846	559	3736.436	3955.564
		死亡数	62	193	153	25	148.100	157.900
		总速度	0.014	0.020	0.018	0.001	0.018	0.018
		前期速度	0.009	0.018	0.015	0.001	0.015	0.015
		后期速度	0.015	0.023	0.021	0.002	0.021	0.021
	0.2	确诊数	1811	4775	3694	576	3581.104	3806.896
		死亡数	73	204	146	25	141.100	150.900
		总速度	0.015	0.020	0.019	0.001	0.019	0.019
		前期速度	0.011	0.019	0.015	0.002	0.015	0.015
		后期速度	0.018	0.025	0.022	0.001	0.022	0.022
	0.3	确诊数	1951	4880	3430	635	3305.540	3554.460
		死亡数	74	187	136	25	131.100	140.900
		总速度	0.015	0.021	0.019	0.001	0.019	0.019
		前期速度	0.011	0.020	0.015	0.002	0.015	0.015
		后期速度	0.017	0.026	0.024	0.002	0.024	0.024
	0.4	确诊数	1497	4483	3312	638	3186.952	3437.048
		死亡数	61	188	132	28	126.512	137.488
		总速度	0.017	0.022	0.020	0.001	0.020	0.020
		前期速度	0.012	0.020	0.016	0.002	0.016	0.016
		后期速度	0.021	0.028	0.026	0.001	0.026	0.026

续表

个人主义	政府规范	变量	极小值	极大值	均值	标准差	95%置信区间下限	95%置信区间上限
高(70)	0.5	确诊数	265	4398	3109	683	2975.132	3242.868
		死亡数	7	199	126	32	119.728	132.272
		总速度	0.010	0.022	0.020	0.001	0.020	0.020
		前期速度	0.008	0.019	0.015	0.002	0.015	0.015
		后期速度	0.016	0.031	0.027	0.002	0.027	0.027
	0.6	确诊数	932	4212	2995	621	2873.284	3116.716
		死亡数	36	184	120	30	114.120	125.880
		总速度	0.018	0.023	0.021	0.001	0.021	0.021
		前期速度	0.010	0.019	0.016	0.002	0.016	0.016
		后期速度	0.026	0.033	0.029	0.002	0.029	0.029
	0.7	确诊数	1519	4045	2926	593	2809.772	3042.228
		死亡数	59	176	118	26	112.904	123.096
		总速度	0.019	0.024	0.021	0.001	0.021	0.021
		前期速度	0.011	0.020	0.016	0.002	0.016	0.016
		后期速度	0.027	0.035	0.031	0.002	0.031	0.031
	0.8	确诊数	1175	4093	2815	576	2702.104	2927.896
		死亡数	39	185	111	25	106.100	115.900
		总速度	0.018	0.024	0.021	0.001	0.021	0.021
		前期速度	0.011	0.019	0.016	0.002	0.016	0.016
		后期速度	0.028	0.037	0.033	0.002	0.033	0.033
	0.9	确诊数	1300	4137	2764	583	2649.732	2878.268
		死亡数	47	174	111	26	105.904	116.096
		总速度	0.019	0.025	0.021	0.001	0.021	0.021
		前期速度	0.011	0.019	0.016	0.002	0.016	0.016
		后期速度	0.028	0.042	0.034	0.003	0.033	0.035

表 S9　研究 4 各变量的描述性统计分析结果

变量	样本量	均值	标准差	极大值	极小值
独立自我建构	1765	61.52	9.997	84	19
互依自我建构	1765	58.92	11.013	84	12
违规流动倾向	1765	4.7785	1.867	7	1
死亡恐惧	1761	3.9284	1.176	6	1

表 S10　研究 4 不同国家独立自我建构和互依自我建构的描述性统计

国家	样本量	独立				互依			
		均值	标准差	最大值	最小值	均值	标准差	最大值	最小值
阿根廷	6	66.50	9.31	82	57	57.00	4.73	63	51
澳大利亚	61	56.07	10.89	84	33	54.21	10.53	82	34
孟加拉	94	57.14	6.30	72	43	54.69	11.29	73	24
加拿大	98	58.61	8.47	77	32	57.91	9.96	81	31
中国	88	57.44	7.75	73	41	59.69	8.23	76	39
哥伦比亚	68	68.09	11.04	84	29	56.13	11.15	76	26
法国	48	57.25	10.43	84	30	54.94	9.57	84	21
德国	80	59.06	8.98	77	31	55.31	9.31	77	31
印度	175	64.73	9.04	79	19	67.01	9.87	82	23

续表

国家	样本量	独立				互依			
		均值	标准差	最大值	最小值	均值	标准差	最大值	最小值
爱尔兰	32	62.53	8.30	82	46	55.78	10.23	72	32
意大利	96	59.44	9.55	80	39	59.04	9.06	81	31
日本	78	55.41	8.13	75	37	52.74	10.00	80	29
韩国	124	58.03	9.79	82	36	57.69	8.81	78	36
墨西哥	60	63.93	11.78	81	28	58.23	10.28	74	24
荷兰	75	67.52	10.34	82	45	52.04	11.66	73	27
尼日利亚	78	64.42	8.20	78	41	65.18	8.29	79	41
巴基斯坦	58	60.16	9.67	76	19	63.59	10.52	79	12
菲律宾	56	62.02	7.54	77	35	59.02	9.41	79	39
西班牙	80	60.06	10.42	84	35	57.98	10.80	79	24
土耳其	61	65.52	9.06	81	44	61.43	11.10	82	39
英国	93	61.92	8.35	82	42	56.26	9.90	83	19
美国	99	66.04	8.70	84	40	62.54	10.25	84	36
委内瑞拉	57	69.39	10.98	84	37	64.18	15.90	84	22

表 S11　研究 4 不同国家死亡恐惧和违规流动的描述性统计

国家	样本量	死亡恐惧				违规流动倾向			
		均值	标准差	最大值	最小值	均值	标准差	最大值	最小值
阿根廷	6	4.833	1.602	7	3	3.417	1.068	5	2
澳大利亚	61	4.689	1.876	7	1	3.795	1.205	6	1
孟加拉	94	4.351	1.905	7	1	3.543	1.226	6	1.5
加拿大	98	4.490	2.042	7	1	3.699	1.157	6	1
中国	88	4.761	1.781	7	1	3.818	0.995	6	1
哥伦比亚	68	4.838	1.897	7	1	4.125	1.124	6	1
法国	48	4.104	1.825	7	1	3.344	1.195	6	1
德国	80	4.963	1.746	7	1	3.744	1.067	6	1.5
印度	175	5.251	1.628	7	1	4.240	1.049	6	1
爱尔兰	32	4.250	2.064	7	1	3.469	1.332	6	1
意大利	96	4.083	1.739	7	1	3.662	0.950	5.5	1.5
日本	78	4.846	1.810	7	1	4.250	1.271	6	1.5
韩国	124	4.766	1.892	7	1	3.951	1.230	6	1
墨西哥	60	5.150	1.764	7	1	3.975	1.170	6	1
荷兰	75	4.893	1.632	7	1	4.033	0.991	6	1.5
尼日利亚	78	5.103	1.951	7	1	4.224	1.404	6	1
巴基斯坦	58	5.069	1.872	7	1	4.181	1.075	6	2
菲律宾	56	4.821	1.478	7	1	4.054	0.923	6	1.5
西班牙	80	4.588	1.998	7	1	3.644	1.228	6	1
土耳其	61	5.639	1.693	7	1	4.475	1.340	6	1
英国	93	4.441	2.029	7	1	3.559	1.216	6	1
美国	99	5.091	1.585	7	1	4.189	1.090	6	1
委内瑞拉	57	4.316	2.458	7	1	4.114	1.090	6	2

表 S12　研究 4 违规流动倾向的分层线性模型

变量	违规流动倾向					
	模型 1		模型 2		模型 3	
	B	*SE*	*B*	*SE*	*B*	*SE*
常数	4.016**	0.383	4.635**	0.577	6.204**	0.638
独立	0.012	0.006	0.012*	0.006	0.014*	0.006
互依			−0.012	0.008	−0.014	0.008
政府规范			0.001	0.008	−0.018*	0.007
人均 GDP					−0.000	0.000
总人口					0.000	0.000
人口密度					−0.001*	0.0002
老年比率					−2.532	1.296

注: *表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$, ***表示 $p < 0.001$, 分层线性模型的因变量为违规流动倾向。

参　考　文　献

Agnew, C. R., Loving, T. J., Le, B., & Goodfriend, W. (2004). Thinking close: measuring relational closeness as perceived self-other inclusion. *Handbook of closeness and intimacy* (pp. 113−126). Psychology Press.

Ashmore, R. D., Deaux, K., & McLaughlin-Volpe, T. (2004). An organizing framework for collective identity: articulation and significance of multidimensionality. *Psychological Bulletin*, *130*(1), 80.

Chen, J., Chang, B., Li, W., Shi, Y., Shen, H., Wang, R., & Liu, L. (2020). Dispositional self-construal modulates the empathy for others' pain: An ERP study. *Frontiers in Psychology*, 11.

Chen, Y., Cheng, J., Jiang, Y., & Liu, K. (2020). A time delay dynamical model for outbreak of 2019-nCoV and the parameter identification. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*, *28*(2), 243−250.

Flaxman, S., Mishra, S., Gandy, A., Unwin, H. J. T., Mellan, T. A., Coupland, H., ... & Bhatt, S. (2020). Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*, *584*(7820), 257−261.

Gross, T., D'Lima, C. J. D., & Blasius, B. (2006). Epidemic dynamics on an adaptive network. *Physical Review Letters*, *96*(20), 208701−209600.

Huang D. S., Guan P., & Zhou B. S. (2003). Fitness of morbidity and discussion of epidemic characteristics of SARS based on logistic models. *Chinese Journal of Public Health, 19*(6), 1−2.

Khalili, M., Karamouzian, M., Nasiri, N., Javadi, S., Mirzazadeh, A., & Sharifi, H. (2020). Epidemiological characteristics of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Epidemiology & Infection,* (148), 1−39.

Osborne, M. J., & Rubinstein, A. (1994). *A course in game theory*. The MIT Press.

Qiu, Y., Chen, X., & Shi, W. (2020). Impacts of social and economic factors on the transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China. *Journal of Population Economics*, *33*, 1127−1172.

Tu, K. C., Chen, S. S., & Mesler, R. M. (2021). Trait self-construal, inclusion of others in the self and self-control predict stay-at-home adherence during COVID-19. *Personality and Individual Differences*, *175*, 110687. 10.3389/fpsyg.2020.508141

Van-Dellen, M. R., & Baker, E. (2011). Implicit delegation of responsibility: Joint self-control in close relationships. *Social Psychological and Personality Science*, *2*(3), 277−283.

Wang, C., Wu, B., Liu, Y., Wu, X., & Han, S. (2015). Challenging emotional prejudice by changing self-concept: priming independent self-construal reduces racial in-group bias in neural responses to other's pain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(9), 1195−1201.

Wang, Y. K., & Liu, X. Y. (2005). The compound logistic model used to describe epidemic situation dynamics of SARS in Beijing. *Journal of China Institute of Metrology*, *16*(2), 159−160.

Ying, Y., Huang, H., Reng, K., & Liu, D. (2020). The research on early spread analysis and government prevention and control measures of coronavirus disease 2019 based on SIR model. *Science & Technology for Development, 16*(10), 73-80.

[应毅, 黄慧, 任凯, 刘定一. (2020). 基于易感-感染-恢复(sir)模型的 2019 冠状病毒病早期传播分析及政府防控措施研究. *科技促进发展, 16*(10), 73−80.]